

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

FORCE, PUISSANCE MUSCULAIRE ET APTITUDE  
À RÉPÉTER DES SPRINTS LINÉAIRE OU QUADRANGULAIRE  
CHEZ LES FOOTBALLEURS U17 D'ÉLITE CANADIENS

MÉMOIRE  
PRÉSENTÉ  
COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAÎTRISE EN KINANTHROPOLOGIE  
(PHYSIOLOGIE DE L'EFFORT)

PAR  
RAMDANE ALMANSBA

MARS 2013

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL  
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

UNIVERSITY OF QUEBEC AT MONTREAL

STRENGTH, MUSCLE POWER AND ABILITY  
TO REPEAT LINEAR OR QUADRANGULAR SPRINTS  
IN CANADIAN ELITE U17 SOCCER PLAYERS

THESIS  
PRESENTED  
AS PARTIAL REQUIREMENT  
OF MASTER'S DEGREE IN KINANTHROPOLOGIE  
(EXERCISE PHYSIOLOGY)

BY  
RAMDANE ALMANSBA

MARCH 2013

## REMERCIEMENTS

J'adresse mes sincères remerciements à l'égard du professeur Comtois Alain Steve, mon directeur de recherche, pour les connaissances physiologiques et technologiques qu'il m'a inculquées tout au long de notre trajet. Je remercie vivement le professeur Jean Paul Boucher (UQAM) et le professeur Robert Pannenic (Exercise Science Department, Concordia University, Montreal) pour leur contribution à cette recherche en acceptant d'y être les rapporteurs interne et externe, respectivement. J'exprime également mes remerciements au professeur Stanislaw Sterkowicz (Kinesiology Department Krakow University, Pologne) pour l'intérêt qu'il a toujours montré à l'égard de mes travaux de recherche en se montrant toujours disponible à répondre aux questions que j'ai dû me poser. Je témoigne grandement ma sympathie au professeur Charles Babineau (Moncton University, New Brunswick, Canada), pour avoir accepté de partager son savoir-faire en physiologie du football.

J'exprime toute mon amitié à l'égard de Jean-Jacques Rondeau (Ph.D), bibliothécaire à l'UQAM, pour l'excellente formation sur la recherche documentaire ainsi que pour son accueil toujours chaleureux.

Cette recherche n'aurait pu être menée à terme sans le financement de l'UQAM qui m'a attribué une bourse d'excellence en recherche (J-A de Sèvre) ainsi qu'une bourse de « Fond des Administrations ».

J'exprime entièrement ma gratitude envers ma femme, qui a su me soutenir dans les moments d'incertitude, et à ma petite fille Sarah pour l'énergie et la joie de vivre qu'elle me procure en permanence.

En fin, je remercie toute ma famille, ma belle famille et mes amis (Redouene, Ismaël Mohamed, Rezki, etc.) pour le soutien et les encouragements qu'ils m'ont témoignés.

## TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	x
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES .....	x
RÉSUMÉ .....	xii
CHAPITRE I	
PROBLÉMATIQUE .....	1
1.1. Introduction .....	1
1.2 Objectifs : .....	2
1.3 Questions de recherche .....	3
1.4 Hypothèses de recherche.....	3
CHAPITRE II	
RECENSEMENT DES ÉCRITS SCIENTIFIQUES .....	4
RÉSUMÉ .....	5
ABSTRACT .....	6
Introduction .....	7
2.1 Analyse quantitative d'un match de football .....	8
2.1 Analyse quantitative d'un match de football .....	8
2.2 Astreinte physiologique déployée en match .....	10
2.2.1 Rythme cardiaque .....	10
2.2.2 Variabilité du rythme cardiaque.....	11
2.2.3 Coût énergétique en match: .....	13
2.2.3.1. Mesure indirecte du $VO_2$ .....	13
2.2.3.2 Mesure directe du $VO_2$ : .....	14
2.2.3.3 Déficit maximal d'oxygène accumulé.....	15
2.2.3.4 Concentration d'acide lactique sanguin.....	16
2.2.3.5 Training Impulse (TRIMP).....	17

2.3 Aptitude à répéter des sprints (RSA) .....	19
2.4 Jeux réduits vs exercices intermittents .....	19
2.5 Limites des jeux réduits .....	23
2.6 Conclusion: .....	25

CHAPITRE III	
MÉTHODOLOGIE ET PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE .....	35
3.1 Participants .....	35
3.1.1 Critère d'inclusion .....	35
3.1.2 Critère d'exclusion .....	35
3.2 Validité et limites .....	36
3.2.1 Validité interne : .....	36
3.2.2 Validité externe .....	36
3.3 Importance de la recherche .....	37

CHAPITRE IV	
PROJET D'ARTICLE ORIGINAL AVEC COMITÉ DE LECTURE.....	39
ABSTRACT .....	41
INTRODUCTION .....	42
Methods .....	43
Experimental Approach to the Problem .....	43
Subjects .....	44
Procedures .....	45
Anthropometrical measurement .....	45
Wingate test.....	45
Myotest-T .....	46
Repeated Sprint Bouts.....	46
Statistical analysis: .....	48

CHAPITRE V	
RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	47
RESULTS .....	50
RÉFÉRENCES.....	62
CHAPITRE VI	
CONCLUSION ET PERSPECTIVE .....	78
APPLICATIONS PRATIQUES .....	80
RÉFÉRENCES.....	82

## LISTE DES FIGURES

Figure .....	Page
2.1 Nombre de sprints selon le poste de jeu chez des footballeurs lors des matches de la ligue des champions d'Europe et de la coupe UEFA de 2002 à 2006 .....	27
2.2 Répartition de la fréquence cardiaque durant un match de football .....	28
2.3 Consommation d'oxygène extrapolée des footballeurs professionnels durant un match.....	29
2.4 Concentration du lactate musculaire et sanguin en 1re et 2emi-temps durant un match chez des footballeurs danois de 4e division .....	30
2.5 Courbe de la relation $\Delta FC-[La-]$ (adapté par Stagno et al. 2007).....	31
2.6 Pourcentage de la fréquence cardiaque de réserve durant les jeux réduits versus exercices intermittents en course.....	32
4.1 Curve of average time of LRSBs (6 x 40-m) with average time to each 10-m split of elite U-17 soccer player .....	66
4.2 Curve of average QARSBs (6 x 40-m) with average time to each 10-m split of elite U-17 soccer players.....	67
4.3 Sprint time evolution from the 1st 40m until 6th 40m for both LRSBs and QARSBs in elite U-17 soccer players.....	68
4.4 Linear regression line of average time of LRSB and QARSB in elite U-17 soccer players.....	69
4.5 Linear regression line of vertical jump measured with Myotest device and Wingate peak power of elite U-17 soccer player.....	70
4.6 Individual HR responses of U-17 soccer players during LRSBs and QARSBs ....	71
4.7 Individual plasma lactate responses of U-17 soccer player to Wingate test, LRSBs and QARSBs .....	72



4.8 RPE responses of elite U-17 soccer players to LRSBs and QARSBs. ....	73
--	----

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau .....	Page
2.1 Distances parcourues par des joueurs selon les postes de jeu et les vitesses de courses pour chaque mi-temps d'un match de football .....	33
2.2 Réponses physiologiques aux jeux réduits décrites par littérature .....	34
4.1 Anthropometrical and physiological characteristics of U-17 soccer players.....	74
4.2 Sprint performances indices and physiological response to LRSBs and QARSBs in elite U17 soccer players (n=17).....	75
4.3 Relationships between indices of LRSBs or QARSBs and leg muscular power of U-17 soccer players .....	76
4.4 Relationships between the Wingate test performances and Myotest performance parameters .....	77

## LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

ATP	Adénosine triphosphates
BPM	Battement par minute
CV	Coefficient of variation
DI	Decrement index
ECG	Électrocardiogramme
FC	Fréquence cardiaque
FCR	Fréquence cardiaque de réserve
FR	Fréquence respiratoire
GPS	Global position system
H <sup>+</sup>	Hydrogen ion
HR	Heart rate
HI	High intensity
ICC	Intraclass coefficient correlation
[La <sup>-</sup> ]	Plasma Lactate concentration
LRSBs	Linear repeated sprint bouts
MM	Masse maigre
PCr	Phosphocréatine
PP	Peak power
QARSB	Quadrangular repeated sprint bouts
RS	Repeated sprints
RSA	Repeated sprint ability
RSBs	Repeated sprints bouts
RPE	Rating of perceived exertion (Borg scale)
SL	Seuil lactique

SV	Seuil ventilatoire
SSG	Small-Sided games
SV	Seuil ventilatoire
TRIMP	Training impulse
V	Vitesse
VE	Ventilation
VFC	Variabilité du rythme cardiaque
VJ	Vertical jump
VAM	Vitesse aérobie maximale
VO <sub>2</sub>	Consommation d'oxygène
VO <sub>2</sub> max	Consommation maximale d'oxygène
YoYo ET	Yo-Yo endurance test
YoYo IRT	Yo-Yo intermittent recovery test
WAnT	Wingate anaerobic test.

## RÉSUMÉ

L'objectif de la présente étude était double: (i) étudier le lien entre la force, la puissance musculaire des membres inférieurs et l'aptitude à répéter des sprints linéaire ou quadrangulaire chez les footballeurs U17 (ii) confronter les astreintes cardiovasculaires et bioénergétiques imposées par ces deux types de sprints.

Dix-sept ( $n=17$ ) footballeurs d'élite Canadien U17 ont effectué dans un ordre randomisé deux types de sprints répétés, linéaires ou quadrangulaires (40 m linéaire ou sur un carré de 4x10 m) étant séparés l'un de l'autre de 48 heures. Les deux types d'exercices ont consisté en la répétition de 6 sprints (6 x 40-m/20-sec) linéaire (RSL) ou quadrangulaire (RSQA). La puissance anaérobie des membres inférieurs était mesurée avec le test de Wingate (30-sec) quant à la force et la puissance explosive étaient évaluées à l'aide d'un accéléromètre (Myotest) au cours d'un test de détente verticale (DV) de type Squat Jump (90°). La fréquence cardiaque (FC) était enregistrée par télémétrie battement à battement en mode R-R et la concentration du lactate plasmatique ( $[La^-]$ ) était dosée 2 minutes après chaque type de sprint ainsi que le test de Wingate. Ces mesures étaient complétées par une mesure de la perception de l'effort sur l'échelle de Borg (RPE). Trois indices de performance ont été calculés pour les exercices de sprints répétés (RSL et RSQA), le meilleur sprint sur 40 m, la moyenne des 6 sprints et l'indice de décrement (ID).

On a noté une forte corrélation entre le meilleur sprint linéaire (40 m) avec la force et la puissance musculaire (moyenne et le pic) développées au test de DV ( $r^2=0.56$  et  $0.46$ ,  $p<0.0$ , respectivement). La corrélation de la moyenne des temps en RSL (6 x 40 m) avec le pic de puissance et l'indice de fatigue (IF) mesurée avec le test de Wingate était statistiquement faible ( $r^2=0.29$  et  $0.31$ ,  $p<0.05$  respectivement). Par ailleurs, aucune corrélation n'a été retrouvée entre les indices de l'aptitude à répéter des sprints linéaire et quadrangulaire. Les réponses physiologiques (FC  $[La^-]$  et le RPE) étaient nettement plus élevées ( $p<0.001$ ) lors de la RSQA comparée à la RSL.

La force et la puissance (pic et moyenne) musculaire mesurées avec le Myotest sont de meilleurs prédicteurs de l'aptitude à répéter des sprints linéaires que les performances (puissance et IF) dérivées du test de Wingate. Par ailleurs, la sollicitation cardiaque et bioénergétique est plus importante lors de la RSQA comparée à la RSL. Décidément, nous concluons que l'aptitude à répéter des sprints linéaires et celle à répéter des sprints quadrangulaires sont deux habiletés motrices de registre physiologique différent qui doivent être entraînées et évaluées séparément.

Mots clés : Football, physiologie, test de Wingate, Myotest, sprints répétés.

## CHAPITRE I

### PROBLÉMATIQUE

#### 1.1. Introduction

Le football, soccer en Amérique du Nord, est le sport le plus pratiqué au monde et aussi le plus médiatisé. En fait, les résultats d'une enquête éditée par la FIFA estiment à 265 millions le nombre de joueuses et de joueurs non licenciés, ce qui représente 10 % de plus qu'il y a dix ans (242 millions). Le nombre de joueuses et de joueurs licenciés est de 38 millions environ, soit 23 % de plus par rapport à 2000. Avec la hausse de ce chiffre, il n'est pas étonnant de voir que le football ait suscité plus d'engouement chez les professionnels de l'ingénierie (informatique, électronique, ergonomie, design, etc.) et les plus grandes entreprises mondiales (Adidas, Sony, Budweiser, Visa, Emirates, Toshiba, McDonalds, etc.). Le football est devenu une véritable source de marketing qui offre à ses sponsors une vitrine médiatique internationale.

L'aptitude physique est l'une des composantes que les entraîneurs peuvent le mieux contrôler et ajuster selon les exigences de la tâche à accomplir sur le terrain. D'ailleurs, la majorité des équipes techniques intègrent au moins un préparateur physique ayant pour tâche l'optimisation de la performance physique des joueurs (Lippi, 2007). D'ailleurs toutes les légendes vivantes du football mondial telles que Pelé, Zico, Cruyff, Bobby Charlton, Beckenbauer, Maradona, Ronaldo et Zidane avaient souligné qu'une bonne condition physique est nécessaire pour exprimer au mieux leur talent footballistique pendant le match (Zauli, 2002). De plus, cette capacité va influencer directement sur la lucidité des placements tactiques des joueurs ainsi que leur repositionnement.

Le football de haut niveau se joue donc sur des détails et le fait qu'un joueur n'ait pas eu un remplacement approprié peut entraîner une défaillance de l'organisation tactique (individuelle ou collective) et permettre ainsi à l'adversaire de prendre l'avantage (Trapattoni, 1999).

L'optimisation de l'entraînement repose principalement sur la détermination des composantes de la performance de l'activité en question afin d'être en mesure de les développer spécifiquement et de façon pertinente. La performance est la résultante de facteurs techniques, tactiques, physiques, biomécaniques et psychologiques (Drust, Atkinson et Reilly, 2007 ; Stolen *et al.*, 2005). Elle est donc un processus complexe pour les entraîneurs qui doivent faire face à un défi de synergie qu'on peut appeler «*Ingénierie du Football*» (Football Engineering).

Le football s'est modernisé lui aussi et en appelle à de nouvelles compétences. Non plus celles d'un autodidacte, mais plutôt celles d'un ingénieur expert en préparation physique. Cette modernisation a suscité de profondes réflexions concernant les méthodes d'entraînement qui s'articulent davantage sur les conditions athlétiques de la pratique. Les nouvelles technologies ont permis de concevoir des appareils portatifs miniaturisés permettant de recueillir des données par télémétrie (cardiofréquencemètre, GPS, K4b<sup>2</sup> de Cosmed, etc.) en match de football. L'aptitude du joueur à répéter des sprints est perçue comme la qualité typique du footballeur de haut niveau. Cette aptitude demeure cependant la moins documentée de la littérature scientifique du footballeur et peu de connaissances physiologiques la concernant sont disponibles pour les préparateurs physiques.

## 1.2 Objectifs

Les objectifs de la présente étude sont de caractériser les astreintes physiologiques de deux exercices de sprints répétés avec ou sans changement de direction et de mettre en liens les aptitudes musculaires et bioénergétiques avec les habilités motrices du

des outils simples et pertinents permettant d'optimiser la performance physique du footballeur afin de lui permettre d'exprimer au mieux son talent footballistique.

### 1.3 Questions de recherche

Dans ce projet de recherche, nous avons tenté de mieux caractériser la physiologie des sprints répétés chez le footballeur en soulevant deux questions principales:

- (i) est-ce que l'aptitude à répéter des sprints linéaire ou quadrangulaire est liée à la force ou à la puissance musculaire des membres inférieurs chez le footballeur U-17 et
- (ii) est-ce que les astreintes physiologiques déployées par les footballeurs U-17 durant les exercices de sprints répétés peuvent être influencées par les changements de direction?

### 1.4 Hypothèses de recherche

Dans la perspective d'augmenter la charge physiologique à imposer au footballeur durant les séances d'entraînement, ce projet de recherche consiste à la mise en place d'un protocole d'entraînement à bases d'exercices intensifs et répétés avec un ratio d'effort/repos de 1:3 approximativement. Les hypothèses de recherche formulées dans ce projet se définissent comme suit (i) la force et puissance musculaire des membres inférieurs du footballeur sont plus déterminantes lors des exercices de RSL que lors des exercices de RSQA (ii) les astreintes cardiaques et bioénergétiques sont plus élevées lors de la RSQA comparativement aux exercices de RSL.



## CHAPITRE II

### RECENSEMENT DES ÉCRITS SCIENTIFIQUES

La revue critique des écrits scientifiques présentée dans cette section est soumise pour publication à la revue Bulgare «Sport & Science» (ISSN 1310-3393).

#### INTÉRÊT ET LIMITE DE LA FRÉQUENCE CARDIAQUE ET AUTRES MESURES DU COÛT ÉNERGÉTIQUE CHEZ LE FOOTBALLEUR

#### INTEREST AND LIMIT OF THE HEART RATE AND OTHER MEASURES OF ENERGY COST IN SOCCER PLAYER

## RÉSUMÉ

Objectif : le recensement des écrits scientifiques inhérent à la physiologie du football afin d'optimiser la préparation athlétique du footballeur.

Actualité : l'avènement de nouvelles technologies offre la possibilité d'équiper les sujets en situation de pratique et ainsi recueillir des informations pertinentes et précises. Les données recueillies permettent en conséquence de rationaliser la préparation athlétique du footballeur.

Perspective et projet : malgré l'utilisation des nouvelles technologies de recherche intelligente dans le domaine des activités sportives, le football manque toujours d'approches physiologiques dans le contexte de l'entraînement. Le port des appareils technologiques portatifs comme l'analyseur métabolique des gaz, K4b<sup>2</sup> de Cosmed durant tout le match est inconcevable. Toutefois, durant les jeux réduits, cette approche serait sans doute pertinente afin d'obtenir des mesures réelles de la dépense énergétique.

Conclusion : En dépit d'un design plus affiné des appareils portables de mesures physiologiques, le nombre d'études liées à l'analyse des astreintes physiologiques du footballeur en match demeure relativement faible. L'association des données physiques issues des appareils portatifs de mesure physiques (vitesse et accélération) de haute précision comme le GPS (10 Hz) avec des données physiologiques recueillies directement à partir d'un K4b<sup>2</sup> de Cosmed est, sans doute la meilleure voie à explorer dans l'avenir. Ceci permettra d'élaborer des outils plus fiables et plus précis permettant d'optimiser la préparation physique du footballeur.

Mots clés : Football, physiologie, performance, évaluation, nouvelle technologie

## ABSTRACT

**Objective:** To review the current and relevant scientific literature regarding the applied physiology of soccer in order to optimize the physical conditioning of soccer player.

**Knowledge state:** The advent of new technology offers the possibility of equipping players in practical conditions and thus collects relevant and accurate information. The data collected can be used to optimize the athletic preparation of players.

**Prospects and Projects:** Despite the new technologies applied to sports to date, football has shown a lack of physiological approaches to match. The port of technological devices such as portable metabolic gas analyzer, the Cosmed K4b<sup>2</sup>, throughout use a match is inconceivable. However, during the small-sided games, this approach would probably be appropriate to obtain real measurements of energy expenditure. Moreover, the new generation of GPS (10 Hz) may provide physiological data and this throughout the match-play.

**Conclusion:** Despite a more refined design of portable physiological measurements, the number of studies related to the physiological analysis of soccer match, however, remains relatively slim. Future studies combining accurate measuring devices such as GPS (10 Hz), a video analysis system taking more than 30 sec pictures per second and treatment by a Captiv software (Nice, France), innovative acquisition system for synchronizing the video images with other devices (GPS, K4b2, etc..) is a promising perspective to explore in the future in order to provide for coaches a relevant physiological data in competitive sports like soccer.

**Keywords:** Soccer, physiology, performance, evaluation, news technology

## Introduction

Le football, soccer en Amérique du Nord, est caractérisé par des actions brèves et intenses et réparties de manière aléatoire durant le match. Les joueurs parcourent plus de kilomètres aujourd'hui (10-12 km) (Dellal, 2008 ; Di Salvo *et al.*, 2007) qu'il y a 20 ans (8-10 km) (Cazorla et Farhi, 1998), sont appelés à recouvrir une grande surface de jeu, à se mobiliser en toutes circonstances, à créer en permanence des situations de surcharge physiologique et à prendre des décisions justes et rapides. En fait, le football moderne est devenu plus exigeant physiquement, car les joueurs ont la double tâche, de défendre ou d'attaquer durant tout le match. On observe aujourd'hui des montées quasi permanentes des défenseurs, un décalage de la ligne défensive, des déplacements en bloc de joueurs, un élargissement de la zone d'intervention des attaquants et une évolution technique et tactique du jeu (une touche, deux touches de balle, etc.), toutes ces variables aléatoires font du football actuel un sport rythmé par des efforts intenses et répétitifs. La performance lors de l'exécution de ces efforts intenses sera directement et proportionnellement tributaire du niveau de la condition physique de chaque joueur.

L'évolution des nouvelles technologies du sport, les enjeux socioéconomiques générés par le football ces dernières années ont fait de ce sport, le plus pratiqué au monde, un des centres d'intérêt majeurs des préparateurs physiques et des physiologistes du sport. Ces derniers œuvrent principalement pour développer des méthodes d'entraînement modernes. Ces profondes réflexions s'articulent davantage autour des exigences athlétiques du football.

Le but de cette revue de la littérature est de dresser (i) un portrait actualisé des exigences physiques et physiologiques de l'activité football et (ii) une analyse critique des différentes mesures physiologiques utilisées afin d'en faire ressortir leurs pertinences et optimiser ainsi la préparation athlétique du footballeur.

## 2.1 Analyse quantitative d'un match de football

L'analyse des différents facteurs de la performance au football révèle l'importance de l'aspect physique au même titre que l'aspect technique, tactique et psychologique (Dellal, 2008). Les préparateurs physiques doivent optimiser la forme physique de leurs joueurs afin qu'ils puissent exploiter au maximum leurs habilités techniques et tactiques. Durant la période compétitive, les entraîneurs ne peuvent privilégier une composante de la performance au détriment des autres qualités (Dellal *et al.*, 2008). Toutefois, des exercices visant à la fois le développement des qualités physiques et des habiletés techniques ou tactiques du joueur peuvent être prescrits tout en admettant que la tâche à accomplir ne puisse être parfaitement contrôlée.

L'analyse quantitative des efforts réalisés lors d'un match de football de haut niveau montre que les distances totales parcourues par les défenseurs centraux ( $n=1704$ ) et les arrières latéraux ( $n=132$ ) sont les plus petites, soit  $10617 \pm 857$  m et  $10775 \pm 646$  m, respectivement. La distance parcourue par les attaquants ( $n=724$ ) est de  $10803 \pm 992$  m et les milieux de terrain ( $n=1488$ ) surpassent les 11000 mètres avec un temps d'engagement moteur plus important chez les milieux défensifs axiaux (Dellal, 2008). Les joueurs parcourent la plus grande distance du match à faible intensité (Rienzi *et al.*, 2000). Le poste de jeu influence la dépense métabolique du footballeur (Mohr, Krstrup et Bangsbo, 2003). Toutefois, ces données de terrain ne fournissent que des informations brutes et ne permettent pas à l'entraîneur de les exploiter durant les sessions d'entraînement afin de mieux doser les différents efforts.

La moyenne de la distance parcourue à haute intensité (HI) représente seulement 10 % (Carling *et al.*, 2008). Plusieurs chercheurs ont analysé les efforts de HI en match de football pour mettre en lumière le profil des sprints parcourus (Di Salvo *et al.*, 2010 ; Di Salvo *et al.*, 2007 ; Di Salvo *et al.*, 2009 ; Mohr, Krstrup et Bangsbo,

2003). Le sprint est considéré comme la qualité la plus déterminante au football, même si elle ne représente qu'une faible proportion de la distance totale parcourue (1 à 12 %) en match.

Di Salvo et al (2007) lors d'une analyse quantitative d'un match de football ont confronté le profil physique des joueurs lors de la 1<sup>re</sup> mi-temps versus la 2<sup>e</sup> mi-temps et selon les postes de jeu (Tableau1). Ils n'ont relevé aucune différence significative de la distance totale parcourue ni de la distance parcourue à HI ( $>23 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ), entre la 1<sup>re</sup> et la 2<sup>e</sup> mi-temps. En revanche, une différence significative a été notée pour les vitesses allant de  $0-11 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  chez les milieux de terrain, de  $11.1-14 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  pour les joueurs centraux et attaquants et de  $14.1-19 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  pour les milieux centraux. Ces résultats viennent contredire une étude antérieure (Verheijen, 1998) qui avait rapporté une diminution de la distance totale en sprint de 125 mètres de la 1<sup>re</sup> à la 2<sup>e</sup> mi-temps. Pour les distances parcourues à des vitesses inférieures à celles des sprints, la même étude avait noté une diminution de 980 m de la distance totale parcourue entre la 1<sup>re</sup> et la 2<sup>e</sup> mi-temps. Ces données concernent les footballeurs de haut niveau et les différences sont plus importantes chez les footballeurs de niveau inférieur (Hawkins, 2004). Toutefois, considérer des sprints à partir de  $23 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  peut surestimer leurs nombres ainsi que de la distance parcourue lors de ceux-ci. Il serait plus représentatif de prendre comme référence le pic de vitesse ( $25-32 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) théoriquement atteinte par un footballeur sur une distance de 30 m (Almansba, Boucher et Comtois, 2013).

Dans la même perspective, Di Salvo et al (2010) ont analysé en détail les différentes activités de sprint de 717 footballeurs de haut niveau (Figure 1) en tenant compte de la position de jeu du joueur durant la «European Champion League» et la coupe UEFA. Les résultats de cette étude ont montré que les activités de sprint sont influencées par la position du joueur sur le terrain. Ces données peuvent servir de référence pour individualiser l'entraînement de la vitesse du footballeur.



## 2.2 Astreinte physiologique déployée en match

### 2.2.1 Rythme cardiaque

Le football représente une répétition d'efforts brefs et intenses et de durée aléatoirement répartie. Ces efforts violents impliquent une forte sollicitation cardiovasculaire traduite par une fréquence cardiaque moyenne de  $156 \pm 13$  bpm avec des pics de  $187 \pm 9$  bpm (Krustrup et al. 2006b). Aucune différence significative ( $157 \pm 15$  vs  $155 \pm 13$  bpm) n'a été observée pour la FC moyenne entre la 1re et la 2e mi-temps. En revanche, le pic de la FC mesurée à la 1re mi-temps est significativement plus élevé que celui enregistrée lors de la 2e mi-temps ( $186 \pm 9$  vs  $181 \pm 10$  bpm) (Krustrup et al. 2006b). L'analyse de l'astreinte cardiaque (Figure 2) imposée par match de football de haut niveau a établi que 70 % du temps de jeu, l'intensité de l'effort était supérieure à 80 % de la FCmax (Cazorla et Farhi, 1998). Mais, les actions très intenses et de très courte durée (<3 sec) mobilisant le métabolisme des phosphagènes (ATP-CP) ne haussent pas systématiquement le débit cardiaque, ce qui peut sous-estimer la charge de travail imposée par un match de football. Une mesure directe du coût énergétique ( $\text{VO}_2$ ) et des paramètres ventilatoires à l'aide d'un K4b<sup>2</sup> de Cosmed durant un match de football sera la meilleure voie à suivre pour se rendre compte de la charge de travail qui y imposée.

La FC est l'indice physiologique le plus utilisé pour prescrire et contrôler l'intensité de l'entraînement (Achten et Jeukendrup, 2003). Cette méthode est basée sur le principe de linéarité entre la FC et les conditions stables de la charge de travail (Achten et Jeukendrup, 2003 ; Hopkins, 1991). Bien que les valeurs absolues d'intensité soient couramment utilisées, le rapport équivalent peut être plus informatif parce qu'il tient compte des variabilités interindividuelles et intra-individuelles. Le % FC max de la compétition est souvent utilisé pour prescrire l'intensité de l'exercice (Hopkins, 1991). Cependant d'autres chercheurs (Karvonen et Vuorimaa, 1988) ont remis en question l'utilisation du % de la fréquence cardiaque maximale

(% FC max) comme méthode de prescription et de quantification de la charge d'entraînement. Ceux-ci proposent plutôt le concept de la FC de réserve (FCR) (équation 1) comme méthode plus précise pour prescrire un exercice cardiorespiratoire, parce que cette méthode tient compte de la FCmax et de la FC de repos qui varient selon l'âge, le sexe et le niveau de la condition physique du sujet.

$$\%FC \text{ réserve} = [(FC \text{ exercice} - FC \text{ repos}) \div (FC \text{ max} - FC \text{ repos})] \times 100 \text{ (1)}$$

Pour prescrire l'intensité de l'exercice, il est souvent supposé que le %FCR est concordant avec le % VO<sub>2</sub>max. Toutefois, une étude (Swain *et al.*, 1998) a démontré lors d'un test maximal utilisant un protocole continu et un test discontinu submaximal sur tapis roulant que le %FCR est un bon indicateur du % VO<sub>2</sub> de réserve (VO<sub>2</sub>R) que du % VO<sub>2</sub>max pour la prescription des exercices en course. Des recherches futures sont nécessaires afin d'établir avec précision la concordance du % VO<sub>2</sub>R à partir du % FCR au cours des exercices intermittents.

### 2.2.2 Variabilité du rythme cardiaque

La variabilité du rythme cardiaque (VRC) est une mesure des variations de la fréquence cardiaque. Elle est généralement calculée par l'analyse des séries chronologiques de battement à battement du complexe QRS (R-R) des intervalles de l'électrocardiogramme (ECG) ou des tracés de pression artérielle (PA). Diverses mesures de la VRC ont été proposées, qui peuvent être subdivisées en domaine temporel, domaine fréquentiel et des mesures non-linéaires. La VRC est considérée comme un indicateur de l'activité de régulation autonome de la fonction circulatoire. Elle est également considérée comme une méthode définitive de l'analyse de l'activité du système nerveux autonome. La modification (la plupart du temps la réduction) de la VRC est associée à diverses pathologies comme l'hypertension artérielle, choc hémorragique, et le choc septique. Elle a trouvé son rôle en tant que prédicteur de la mortalité après un infarctus aigu du myocarde. L'utilisation de la VRC comme



méthode non invasive pour évaluer la fonction du système cardiovasculaire et du système nerveux autonome chez les patients et sportifs a augmenté de manière considérable (Boettger *et al.*, 2010 ; Janse Van Rensburg *et al.*, 2010). Cette mesure invasive présente un grand intérêt dans la programmation et le suivi des adaptations de l'entraînement en endurance chez les sujets, que ce soit dans le cadre de la santé (Dantas *et al.*, 2010) ou dans une performance en perspective (Iellamo *et al.*, 2004). Bien que, la signification de cette mesure soit actuellement controversée, elle demeure néanmoins une mesure pratique et très utile en médecine préventive et en recherche clinique. C'est pendant cette dernière décennie que l'utilisation de la VRC s'est très répandue dans le domaine de la performance sportive, entre autres pour évaluer les effets de l'entraînement (Gamelin, Berthoin et Bosquet, 2009 ; Kaikkonen, Rusko et Martinmäki, 2008), prescrire la charge individuelle (volume/intensité) et prédire les changements dans le comportement du système nerveux (Manzi *et al.*, 2009), pour détecter et prévenir le surentraînement (Achten et Jeukendrup, 2003), estimer indirectement les seuils ventilatoires (Cottin *et al.*, 2007), et très récemment pour prédire la consommation d'oxygène (Smolander *et al.*, 2011). Plusieurs chercheurs ont étudié ces derniers temps la VRC chez des footballeurs (Bricout, DeChenaud et Favre-Juvin, 2010 ; Buchheit *et al.*, 2010b) afin de contrôler les effets des charges d'entraînement cumulées. Toutefois, les mesures prises avant, pendant ou après l'effort ne semblent pas être de bons marqueurs. Autrement dit, les mesures les plus fiables et les plus informatives doivent être enregistrées au repos total (sommeil profond ou réveil) afin de mieux estimer l'efficacité du système nerveux autonome chez le footballeur. Par ailleurs, ces mesures nocturnes ne sont pas toujours accessibles. En fait, les sujets sont souvent livrés à eux-mêmes durant les enregistrements nocturnes et aucun contrôle n'est possible si ce n'est que la bonne volonté du sujet à suivre les instructions fournies par l'investigateur. De plus, le manque de connaissances cliniques et la standardisation difficile des méthodes de collecte de données rendent les résultats peu concluants (Janse Van Rensburg *et al.*,

2010), et d'autres informations contradictoires ont été rapportées pour les domaines de mesure temporelle et fréquentielle durant l'exercice physique (Boettger *et al.*, 2010). En guise de conclusion, l'utilité de la VRC dans le domaine de la performance sportive reste encore à établir. Des recherches futures sont nécessaires pour rendre l'interprétation de la VRC plus concluante lors d'un exercice physique.

### 2.2.3 Coût énergétique en match.

Le football est un sport impliquant des efforts aérobies et anaérobies; en tant que telle, l'astreinte physiologique imposée à un joueur de football pendant les sessions d'entraînement et les matches a fait l'objet d'études depuis plusieurs années (Ogushi *et al.*, 1993). La demande métabolique au cours d'un match de football peut être estimée indirectement par des marqueurs biologiques ([La<sup>-</sup>], glycogène, PCr, ammoniac, urée etc.) ou physiologiques (FC VRC, VO<sub>2</sub>, VE, FR, etc.) directement avec système d'analyse des échanges gazeux portable (K4b<sup>2</sup> de Cosmed)

#### 2.2.3.1. Mesure indirecte du VO<sub>2</sub>

L'estimation du VO<sub>2</sub> submaximale à partir de la FC est régulièrement utilisée pour ajuster l'intensité de l'exercice en entraînement aérobic continu (Beaver, Wasserman *et Whipp*, 1986). Les valeurs de la FC peuvent prédire indirectement la consommation d'oxygène à partir de la relation individuelle FC-VO<sub>2</sub> même dans des conditions d'exercice non-stable (Bot *et Hollander*, 2000). Cependant, la relation FC-VO<sub>2</sub> établie à partir d'un exercice intermittent sur le terrain est disproportionnée (Castagna *et al.* 2007). En plus, des facteurs tels que la vitesse du vent, la déshydratation, l'humidité et la température ambiante peuvent influencer cette relation. Malheureusement, les seules données rapportées sur la dépense énergétique dans la littérature sont des valeurs du VO<sub>2</sub> extrapolées de la relation FC-VO<sub>2</sub>. Bien que Cazorla *et Farhi* (1998) aient exploité la relation FC- VO<sub>2</sub> pour montrer que 50 % des efforts s'effectuent à une intensité supérieure à 80 % VO<sub>2</sub>max (Figure 2).

D'autres études ont soulevé le problème de la linéarité de la relation FC-  $\text{VO}_2$  au cours d'un exercice intermittent sur le terrain est disproportionnée (Crisafulli *et al.*, 2006 ; Ogushi *et al.*, 1993).

#### 2.2.3.2 Mesure directe du $\text{VO}_2$

Ogushi *et al.* (1993) ont tenté de mesurer le  $\text{VO}_2$  au cours des trois premières minutes d'un match de football chez deux joueurs en utilisant un sac de Douglas (1200 g). Cependant, leurs mesures semblaient avoir été sous-estimées à cause du matériel encombrant que portaient les joueurs, inhérent à la mesure du  $\text{VO}_{2\text{max}}$ . Les auteurs ont rapporté que les valeurs moyennes allaient de 35 à 38  $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  et de 29 à 30  $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  à la deuxième mi-temps. Celles-ci correspondaient à 56 - 61 % et 47 - 49 % du  $\text{VO}_{2\text{max}}$  respectivement pour la première et la deuxième mi-temps. Toutefois, ces sacs très encombrants ne permettaient pas de courir confortablement et de pratiquer différentes activités motrices spécifiques au football (tackles, dribles, duels, etc.), ce qui laisse croire que le  $\text{VO}_2$  mesuré durant le match était vraisemblablement sous- estimé.

Dans la même vision, Felci *et al.* (1995) ont mesuré directement le  $\text{VO}_2$  à l'aide du système K4b<sup>2</sup> de Cosmed lors de différents exercices spécifiques au football. Les auteurs ont établi une droite de régression de la relation FC- $\text{VO}_2$ . Mais, les données recueillis à partir des exercices spécifiques non contrôlés rendent l'extrapolation difficile comparée aux données recueillies au laboratoire dans des conditions stable et contrôlées. L'étude de Kemi *et al.* (2003) a montré qu'il est possible d'obtenir une mesure directe du  $\text{VO}_{2\text{max}}$  au cours d'un exercice de drible au football à l'aide du système K4b<sup>2</sup> de Cosmed. Par conséquent, il est possible d'évaluer avec ce type d'exercices les progrès de la performance aérobie réalisés par des footballeurs. Malheureusement, le K4b<sup>2</sup> de Cosmed est un appareil très onéreux et n'est pas à la portée de la majorité des clubs.

Castagna et al (2007) ont mesuré les réponses cardiovasculaires et respiratoires avec le K4b<sup>2</sup> de Cosmed durant 30 minutes de jeu réduit (5 vs. 5) chez des footballeurs. Ils ont atteint des valeurs de  $72 \pm 9.2 \%$  et  $51.6 \pm 11.2 \%$  FCmax et du  $VO_{2max}$ , respectivement, ce qui correspondait à  $61.3 \pm 9.8 \%$  FCR et à  $47.2 \pm 11.1 \%$  du  $VO_{2R}$  ( $VO_2$  de réserve). Le pourcentage du temps de jeu était de  $9.39 \pm 7.49 \%$ ,  $39.71 \pm 19.98 \%$  et  $50.90 \pm 26.07 \%$  pour les efforts à faible ( $<70 \%$  FCmax), moyenne ( $70-85 \%$  FCmax) et haute intensité ( $>85 \%$  FCmax), respectivement. Les auteurs (Castagna *et al.*, 2007) ont confirmé que le jeu réduit (5 vs. 5) est approprié pour améliorer et suivre la progression de la performance aérobie des joueurs de football. Cette étude a également confirmé que la FC est une mesure acceptable pour prédire indirectement la consommation d'oxygène ( $VO_2$ ) lors d'un exercice intermittent spécifique au football. Toutefois, l'erreur d'estimation individuelle était trop importante chez certains joueurs. De plus, une intensité de  $52 \%$   $VO_{2max}$  est insuffisante pour développer l'endurance aérobie d'un joueur professionnel. À cet effet, une intensité égale ou supérieure à  $70 \%$   $VO_{2max}$  est requise pour espérer réaliser des progrès significatifs en compétition officielle.

#### 2.2.3.3 Déficit maximal d'oxygène accumulé

Medbo et al. (1988) ont proposé un protocole permettant de mesurer le déficit maximal d'oxygène accumulé (DMOA) après un effort maximal de 2 à 3 minutes à  $130 \%$  du  $VO_{2max}$  sur tapis roulant. Pour être en mesure de faire ces calculs, le sujet doit effectuer quatre mesures au préalable, un test de  $VO_{2max}$  et trois mesures d'une durée de 10 minutes à intensité submaximale au cours d'un exercice continu en vue d'établir la courbe de relation «  $VO_2$ -intensité ». Cette courbe donne une mesure théorique du  $VO_2$  à intensité supra-maximale (par exemple  $130 \%$   $VO_{2max}$ ). Le sujet exécute tous les efforts à intensité supramaximale, les échanges gazeux sont recueillis et la capacité anaérobie représente la différence entre la consommation d'oxygène réelle avec intensité sous-maximale et la consommation



d'oxygène théorique extrapolée de la courbe  $\text{VO}_2$ -intensité. Cette différence est réputée être l'énergie dérivée de la glycolyse lactique. Cependant certains chercheurs ont remis en cause la probité de la linéarité de la courbe  $\text{VO}_2$ -intensité. Une autre étude (Medbø, 1996) a rapporté un faible écart (4 %) de l'estimation de l'énergie provenant du métabolisme anaérobie par la méthode de ponction biopsique et cette constatation doit être considérée comme valide. Par ailleurs, la mesure du DMOA en situation de la pratique est rendu possible aujourd'hui avec un analyseur métabolique portatif comme le K4b<sup>2</sup> de Cosmed (Italie, Rome) ce qui permettrait de mieux cerner la contribution de la glycolyse lactique et de manière plus spécifique.

#### 2.2.3.4 Concentration d'acide lactique sanguin

L'analyse quantitative d'un match de football de haut niveau montre que les joueurs effectuent 150 à 250 actions brèves et intenses au cours d'un match de 90 min, produisant des concentrations de lactate plasmatique (Bangsbo, Mohr et Krstrup, 2006 ; Mohr, Krstrup et Bangsbo, 2003) allant de 2 à 14  $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$  (Bangsbo, Norregaard et Thorso, 1991), témoignant ainsi de la forte mobilisation de la glycolyse lactique durant un match de football.

Les concentrations moyennes de lactate plasmatique sont de 4.9 (2.1-10.3)  $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$  durant la première mi-temps et de 2.7 (1.6-4.6)  $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$  à la fin du match chez des joueurs de première ligue (Silva *et al.*, 2010). Toutefois, les séquences d'efforts de courte durée et de haute intensité doivent faire l'objet d'une analyse métabolique plus approfondie. Autrement dit, il est impératif de distinguer les efforts de faible, moyenne et de forte intensité pour mieux rendre compte de la charge métabolique imposée par un match de football. Ainsi, le préparateur physique disposera d'informations fiables permettant de mieux prescrire et réguler les intensités d'entraînement. Krstrup et al. (2006) ont dosé le lactate de manière séquentielle durant le match. Ils ont observé des  $[\text{La-}]$  plus élevées à la 1re mi-temps comparée à

la 2e mi-temps, et la  $[La^-]$  musculaire était plus élevé que le  $[La^-]$  plasmatique. En outre, aucune corrélation n'a été perçue entre la  $[La^-]$  plasmatique et la  $[La^-]$  musculaire. La différence de  $[La^-]$  entre la première et la deuxième mi-temps concorde avec la diminution de la distance parcourue et la baisse de l'intensité à la 2e mi-temps (Mohr, Krstrup et Bangsbo, 2003).

#### 2.2.3.5 Training Impulse (TRIMP)

Plusieurs études ont fait l'objet de recherche de méthode de quantification de la charge d'entraînement. Banister et al. (1975) ont été à l'origine de l'établissement et de la validation de la méthode TRIMP en exploitant des mesures physiologiques (FC,  $[La^-]$ , VMA et  $VO_{2max}$ ). Cette méthode associait l'intensité et la durée de l'exercice en une seule variable. Elle est fondée sur le principe de l'élévation de la fraction de la FC versus lactatémie ( $\Delta FC-[La^-]$ ) lors d'un exercice progressif. Les auteurs ont proposé l'équation suivante pour quantifier la charge d'entraînement :  $TRIMPS = TD \times FCR \times 0.64e^{(1.92 \times FCR)}$  ou "TD" est la durée totale de l'exercice, "FCR" est la FC de réserve et "e" le logarithme népérien. Le TRIMPS a été utilisé la première fois pour des sports d'endurance, car la FC durant la session d'entraînement demeure dans la zone aérobie (Banister *et al.*, 1975). Par la suite, Edwards (1993) a simplifié le TRIMPS en introduisant cinq zones de FC : zone 1 = 50-60% FCmax, zone 2 = 61-70% FCmax, zone 3 = 71-80% FCmax, zone 4 = 80-90% FCmax et zone 5 = 81-100% FCmax. Par la suite d'autres travaux (Foster *et al.*, 2001) ont exploité cette approche pour valider la méthode de mesure de la perception de l'effort (Rating of Perceived Exertion) lors des exercices intermittents très intenses et de longue durée. Toutefois, aucune étude n'est publiée au sujet de la validité et de la précision de cette méthode. D'autre part, les zones de FC sont attribuées de manière arbitraire et aucune signification physiologique n'y est associée. Par exemple, un sujet ayant une FC moyenne de 60 % aura un facteur de pondération égal à 1 et celui ayant une FC moyenne de 61 % aura un facteur de pondération égale deux fois le

premier. Par conséquent, une différence de 1 % de la FC moyenne impose au 2e sujet une astreinte physiologique deux fois supérieure à celle du 1er sujet. On peut conclure donc que cette méthode manque de fondement physiologique lors de son application, entre autres, à des exercices intermittents, intenses, et aléatoirement répartis tels qu'observés lors d'un match de football.

Une nouvelle version de TRIMPS (Stagno, Thatcher et van Someren, 2007) adaptée aux sports intermittents a fait l'objet d'une validation et ayant l'avantage d'utiliser un exercice discontinu. Elle consistait en un effort de 4 x 4 minutes à des vitesses de 10, 12, 14 et 16 km·h<sup>-1</sup> avec une pente de 2 % pour simuler les surfaces artificielles. Les zones cibles de FC et les facteurs de pondération pour chaque zone ont été modifiés, tel que proposé antérieurement (Banister, 1991 ; Banister *et al.*, 1975). Ces nouvelles variables sont illustrées par la courbe de l'élévation fractionnelle de la fréquence cardiaque versus lactatémie (Figure 5). Les auteurs ont attribué une signification physiologique à chacune de ses zones marquant ainsi, l'originalité de cette nouvelle version de TRIMP. Ils ont proposé 5 nouvelles zones de fréquence cardiaque (65-71 %, 72-78 %, 79-85%, 86-92 %, 93-100 %) avec leur facteur de pondération respectifs (1.25, 1.71, 2.54, 3.61, 5.16) dérivé d'une courbe présentée comme ayant une forme exponentielle (Figure 5). Toutefois, la relation FC-[La<sup>-</sup>], établie est plutôt de type parabolique. Ceci remet en question la validité et la fiabilité de cette méthode.

Akubat et Abt (2011) ont montré qu'un exercice intermittent (4 x 4 min/1min) alternant des vitesses élevées et plus faibles (50 %-25 %, VAM 75 %-50 % VAM, etc.) affecte significativement les facteurs de pondération dérivés individuellement de la relation  $\Delta FC$ -[La<sup>-</sup>]. Cette étude a également souligné que le TRIMP calculé à partir de la relation  $\Delta FC$ -[La<sup>-</sup>] obtenu lors d'un exercice continu sous estime la charge d'entraînement des sports intermittents tel que le football. Cependant, un exercice intermittent doit s'établir à une intensité égale ou supérieure à 100% de la VAM.

### 2.3 Aptitude à répéter des sprints (RSA)

Le concept « Repeated Sprint Ability » peut être interprété comme l'aptitude à sprinter, récupérer et sprinter de nouveau, ces séquences d'efforts intermittents (sprint, récupération, sprint) pouvant être répétées plusieurs fois (Bishop et Castagna, 2002). Très récemment, Almansba et Comtois (2013) ont défini exhaustivement le RSA comme l'aptitude du joueur à maintenir de 100 à 90% du pic de vitesse atteint lors d'un sprint singulier ( $\leq 10$  sec) au cours des sprints suivants séparés par de courtes période de récupération ( $\leq 30$  sec).

Un grand nombre de travaux (Bishop et Edge, 2006 ; Buchheit *et al.*, 2010a ; Chaouachi *et al.*, 2010 ; Da Silva, Guglielmo et Bishop, 2010 ; Rampinini *et al.*, 2009) ont étudié plusieurs formes de RSA, en variant la distance, le nombre de sprints et la récupération entre ceux-ci. Toutefois, la fréquence des sprints en match de football est faible. En effet, Stolen *et al.* (2005) ont dénombré une action très intense toutes les 70 secondes chez le footballeur professionnel. Cette durée de récupération est largement suffisante pour reconstituer la phosphocréatine (PCr) nécessaire pour le renouvellement (turnover) de l'ATP. Par ailleurs, aucune n'a distinguée la fréquence des sprints avec et sans changement de direction. On ignore présentement s'il ya prédominance de l'un ou de l'autre durant un match. Cet aspect vient ajouter une contrainte majeure à la programmation de ce type d'effort dans l'entraînement du footballeur. De futures études avec un système d'analyse vidéo de haute précision sont nécessaires pour dénombrer précisément les sprints avec ou sans changement de direction durant un match de football.

### 2.4 Jeux réduits vs exercices intermittents

En raison de sa nature, le football intègre des charges intermittentes de forte à faible intensités (Bangsbo, 1994). L'intensité de l'effort en match de football est de l'ordre de 70 à 80 % du  $VO_2\text{max}$  (Helgerud *et al.*, 2001) avec des distances parcourues de



10-12 km (Bangsbo, 1994 ; Di Salvo *et al.*, 2007). Dans ce contexte, des études (Helgerud *et al.*, 2001) ont souligné l'importance de l'entraînement intermittent sur l'amélioration du  $\text{VO}_2\text{max}$ , qui est considéré comme l'indice physiologique le plus déterminant de la performance aérobie chez le footballeur. Un entraînement par intervalles de 3-4 minutes à 90-95 % de la  $\text{FCmax}$  sur une période de 8 semaines a permis d'améliorer le  $\text{VO}_2\text{max}$  et le seuil lactique du footballeur de 11 et 16 %, respectivement. En outre, la distance parcourue lors d'un match a augmenté de 20 % alors que le nombre de sprints a été doublé (Helgerud *et al.*, 2001). Dans la même perspective, une étude très récente a révélé une augmentation du  $\text{VO}_2\text{max}$  de 7 % et une diminution significative du temps de course sur 1000-m après 5 semaines en entraînement intermittent de haute intensité (Sperlich *et al.*, 2011). Cette dernière a montré également qu'un grand volume d'entraînement n'a aucun effet bénéfique sur le  $\text{VO}_2\text{max}$  et la performance en course sur 1000-m.

Les jeux réduits sont couramment utilisés par les entraîneurs dans la préparation physique intégrée en vue de développer les habilités techniques des joueurs de football, mais également pour améliorer leur capacité aérobie (Mallo et Navarro, 2008 ; Rampinini *et al.*, 2007). Compte tenu du temps limité consacré pour l'entraînement physique dans les sports collectifs comme le football, l'efficacité des jeux réduits comme stimulus de conditionnement physique doit être optimisée. Par conséquent, une analyse plus élaborée des réponses physiologiques durant les jeux réduits est nécessaire afin d'optimiser l'entraînement du footballeur.

Hill-Haas *et al.* (2009b) a étudié les réponses physiologiques et les caractéristiques physiques associées à trois surfaces de jeux différentes chez les jeunes footballeurs ( $16.3 \pm 0.6$  ans) : 2 vs 2 (28 x 21 m), 4 vs. 4 (40 x 30m) et 6 vs. 6 (49 x 37). La FC, le RPE (Échelle de la perception de l'effort), la  $[\text{La}^-]$  plasmatique et les caractéristiques physiques (distance et vitesse) de jeu ont été notés. Les résultats de cette étude (Tableau 5) ont montré que les réponses de la FC, de la  $[\text{La}^-]$  plasmatique

et du RPE au 2 vs. 2 sont plus élevées qu'au 4 vs. 4 et au 6 vs. 6. ( $p < 0.05$ ). Néanmoins aucune différence significative n'a été retrouvée pour la distance totale parcourue dans les trois variantes de jeu réduit (Tableau 5). Une performance traduite par un nombre de buts marqués peut favoriser la motivation extrinsèque des joueurs et en influencer probablement les réponses physiologiques.

Dans la même perspective, Hoff et al. (2002) ont remarqué qu'un entraînement à base d'exercices de dribble en football ou en jeux réduits (4 vs 4) chez les jeunes joueurs de football (U15), induit une augmentation de la distance totale parcourue au test de Hoff (9.6 %) et une amélioration du  $VO_2\text{max}$  (14.5 %) en laboratoire (Chamari *et al.*, 2005). Par ailleurs, d'autres auteurs (Reilly et Williams, 2002) ont rapporté qu'un entraînement de 6 semaines à base de jeux réduits (5 vs. 5) ou qu'un entraînement par intervalle entraîne les mêmes progrès de la capacité aérobie. Toutefois, ce type d'exercice est difficile à contrôler et pourrait favoriser les joueurs avec une meilleure capacité de dribble au détriment de ceux moins bons techniquement.

D'autres travaux (Hoff *et al.*, 2002 ; Impellizzeri, Rampinini et Marcora, 2005 ; Mallo et Navarro, 2008) ont rapporté que les réponses de la FC lors d'un entraînement aérobie spécifique au football étaient comparables à celle obtenues lors de l'entraînement conventionnel par intervalle. La différence entre ces 2 types d'entraînement réside dans le fait que les exercices spécifiques mènent à un développement simultané des capacités techniques et tactiques des joueurs (Flanagan et Merrick, 2001). Toutefois, dans les exercices spécifiques, les joueurs sont relativement libres et leurs réponses physiologiques dépendent essentiellement de leur niveau d'implication ainsi que de leur motivation individuelle. De plus, les entraîneurs ne peuvent contrôler les efforts déployés par leurs joueurs.

Les jeux réduits semblent reproduire les réponses physiologiques des exercices intermittents en course (Dellal *et al.*, 2008 ; Hill-Haas *et al.*, 2011) sans néanmoins

atteindre l'intensité de certains de ceux-ci. Dellal et al (2008) a noté la plus faible intensité au 8 vs. 8 sans gardien de but et la plus haute intensité au 8 vs. 8 avec gardien de but (Figure 6). Toutefois, l'incorporation des gardiens de but dans les jeux réduits peut accroître le temps de récupération chez les joueurs et influencer ainsi les réponses physiologiques.

Une étude assez récente (Hill-Haas *et al.*, 2009a) a comparé l'impact des jeux réduits à l'entraînement conventionnel sur une période de 7 semaines, aucune différence significative n'a été observée pour les valeurs de la FC ou de la perception de l'effort (RPE) chez les deux groupes. Toutefois, le groupe qui a suivi un entraînement conventionnel n'a pas perçu ses efforts plus intenses que lors des jeux réduits. Il n'y avait pas de modification du  $VO_2\text{max}$  mesuré sur tapis roulant, au test de course navette (Leger et Lambert, 1982) Yo-Yo intermittent Test niveau 1 (IRT1), au test de sprint répétés ou en sprint singulier de 20 m avant et après l'intervention entre les deux groupes. Cependant, il y a eu une amélioration de la performance au YYIRT1 chez les deux groupes, mais sans qu'il y ait de différence entre ces derniers. Les résultats suggèrent que les deux types d'entraînement sont aussi efficaces l'un que l'autre pour améliorer la performance au YYIRT1. McMillan et al. (2005) ont établi qu'un exercice de dribble en football (4 x 4 minutes) peut améliorer considérablement le  $VO_2\text{max}$ . En outre une combinaison de ce type d'exercice avec un entraînement conventionnel peut amener le  $VO_2\text{max}$  à une valeur de  $70 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ . Les entraîneurs modifient souvent les règles du jeu pour atteindre l'intensité d'exercice la plus élevée possible ou pour développer les habiletés techniques et tactiques spécifiques à l'activité football. Par conséquent, la variation des contraintes de jeu (surface de jeu, nombre de joueurs, etc..) sont des facteurs qui peuvent influencer les réponses physiologiques durant les jeux réduits. Bien que les réactions physiologiques durant les jeux réduits soient bien connues, leurs rapports avec les habiletés techniques restent, cependant, inconnues à ce jour.

Hill-Haas et al. (2010) a proposé une variante très originale de jeux réduits (Tableau 2), en introduisant un joueur supplémentaire «floater<sup>1</sup>» dans le but de créer des situations temporaires de sous-charge et de surcharge de travail chez les deux équipes adverses. Cette nouvelle variante semble plus intéressante que les jeux réduits conventionnels. Les résultats de cette étude (Hill-Haas *et al.*, 2010) ont montré que cette nouvelle variante de jeux réduit a affecté les efforts déployés par le floater. En fait, ce dernier a parcouru plus de distance, a effectué le plus grand nombre de sprints ( $>18 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ) et a enregistré le RPE le plus élevé (Tableau 2). Cependant, très peu de travaux examinant des situations de jeux réduits avec l'introduction de (s) joueur (s) floater (s) sur différentes surfaces de jeux avec différents effectifs ont été publiés. De futures études sur les différentes formes de jeux réduits (variation de la surface, exercice intermittent, exercice continu, effectif, nombre de flotter, etc.) sont requises afin de de comparer les astreintes physiologiques déployées par le (s) floater à celles des autres joueurs.

## 2.5 Limites des jeux réduits

Le nombre actuel de recherches systématiques dans ce type d'exercice est relativement insuffisant et, par conséquent, il est difficile d'énoncer des conclusions définitives. Malgré que les jeux réduits offrent plusieurs avantages, il y a aussi un certain nombre de restrictions liées à leurs prescriptions, y compris (i) la difficulté d'atteindre l'intensité maximale par des joueurs ayant une excellente condition physique (ii) la capacité à reproduire des actions intenses comparables à celles des matchs (iii) l'exigence des compétences techniques et tactiques pour atteindre l'intensité souhaitée; (iv) les risques de blessures lors des contacts et duels, et la

---

<sup>1</sup> Est un joueur en transition temporaire, évoluant toujours avec l'équipe en possession de la balle, et tâche de créer un pressing chez l'équipe adverse.

difficulté pour les entraîneurs de contrôler ce type d'entraînement (Hill-Haas *et al.*, 2011).

Il a été rapporté que les joueurs ayant un  $\text{VO}_2\text{max}$  élevés ont enregistré le plus faible pourcentage de  $\text{VO}_2$  lors des jeux réduits (Buchheit *et al.*, 2009), ce qui porte à croire que soit, les contraintes techniques ou tactiques du jeu, soit l'intermittence des efforts peuvent empêcher certains joueurs d'atteindre une intensité d'effort appropriée (Hoff et Helgerud, 2004). Par conséquent, il a été suggéré que dans ces conditions d'entraînement, les joueurs ayant une excellente condition physique et une bonne habileté technique ne peuvent atteindre une intensité d'effort suffisante pour améliorer leur aptitude aérobie. En fait, une corrélation faible a été observée entre le niveau de la condition physique et l'intensité de l'exercice au cours des différents jeux réduits (Hill-Haas *et al.*, 2011). Ces résultats suggèrent que les joueurs avec une excellente condition physique ne peuvent atteindre la plus grande intensité durant les jeux réduits. De futures recherches sont nécessaires pour mettre en lumière le lien entre le niveau de la condition physique et l'intensité de l'effort au cours des jeux réduits. En outre, la nature intermittente des jeux réduits peut limiter la capacité des joueurs à atteindre une charge cardiaque suffisante nécessaire au développement des adaptations aérobies. En effet, Hoff et Helgerud (2004) ont souligné que les adaptations aérobies ne sont développées que si seulement le débit cardiaque de réserve demeure très élevé ( $> 90\%\text{FCmax}$ ) pendant des périodes d'efforts prolongées. Il a également été supposé que les jeux réduits ne simulent pas aussi fidèlement les sprints répétés qu'une compétition de haut niveau (Gabbett, Jenkins et Abernethy, 2009), et on ignore présentement s'ils peuvent reproduire les phases intenses du match (Hill-Haas *et al.*, 2011). Toutefois, la limite des réponses physiologiques aux jeux réduits peut être ajustée par un contrôle approprié des variables (surface de jeu, nombre de touche, etc.). En outre, les jeux réduits impliquent des combinaisons techniques, tactiques, cognitives et physiques. Ces capacités simultanées peuvent être nécessaires pour atteindre l'intensité de l'effort souhaitée. Par conséquent, il est

possible que les joueurs de niveau inférieur ne puissent être en mesure de maintenir un niveau technique ou tactique permettant d'atteindre et de maintenir une charge métabolique, indiquant ainsi que l'entraînement peut être contre-productif en termes de performances (Castagna, Belardinelli et T, 2004). Toutefois, les différentes versions des jeux réduits (1 vs. 1, 2 vs. 2, ...) n'ont jamais fait l'objet d'une périodisation de l'entraînement et on ignore présentement la place qu'occupe chaque version dans les périodes d'entraînement. En outre, aucune information n'est disponible sur le lien existant entre les jeux réduits et la performance des joueurs en match.

Malgré les travaux (Clemente *et al.*, 2012 ; Da Silva *et al.*, 2011 ; Dellal *et al.*, 2012 ; Fradua *et al.*, 2012 ; Frencken *et al.*, 2011 ; Gómez *et al.*, 2011 ; Hill-Haas *et al.*, 2011 ; Köklü, 2012) publiés davantage sur les jeux réduits, les résultats ne sont pas très concluants. De futures recherches sont nécessaires afin de mieux cerner l'effet de différents jeux réduits sur les paramètres physiques et physiologiques » (Hill-Haas *et al.*, 2008a ; Hill-Haas *et al.*, 2008b ; Hill-Haas *et al.*, 2010 ; Hill-Haas *et al.*, 2011 ; Impellizzeri *et al.*, 2006 ; Köklü *et al.*, 2011 ; Mallo et Navarro, 2008 ; Tessitore *et al.*, 2006).

## 2.6 Conclusion:

Certaines mesures physiologiques prises en situation de la pratique peuvent fournir des informations intéressantes sur les contraintes physiologiques imposées au footballeur. Toutefois, ces données peuvent être influencées par l'approche méthodologique utilisée et engendrer ainsi un problème de validité constructive. Il est nécessaire de concevoir des approches méthodologiques plus rigoureuses pour ne pas réduire la performance du footballeur uniquement à des données statistiques. Autrement dit, de nouvelles recherches sur les méthodes de quantification de la mesure physiologique sont nécessaires pour augmenter l'efficacité de la prescription

de la charge de travail à imposer au footballeur. L'utilisation de nouvelles technologies comme le K4b<sup>2</sup> de Cosmed ou le GPS de haute précision (10 Hz) seront d'une grande utilité pour élaborer et valider de nouvelles méthodes de quantification de la charge d'entraînement.



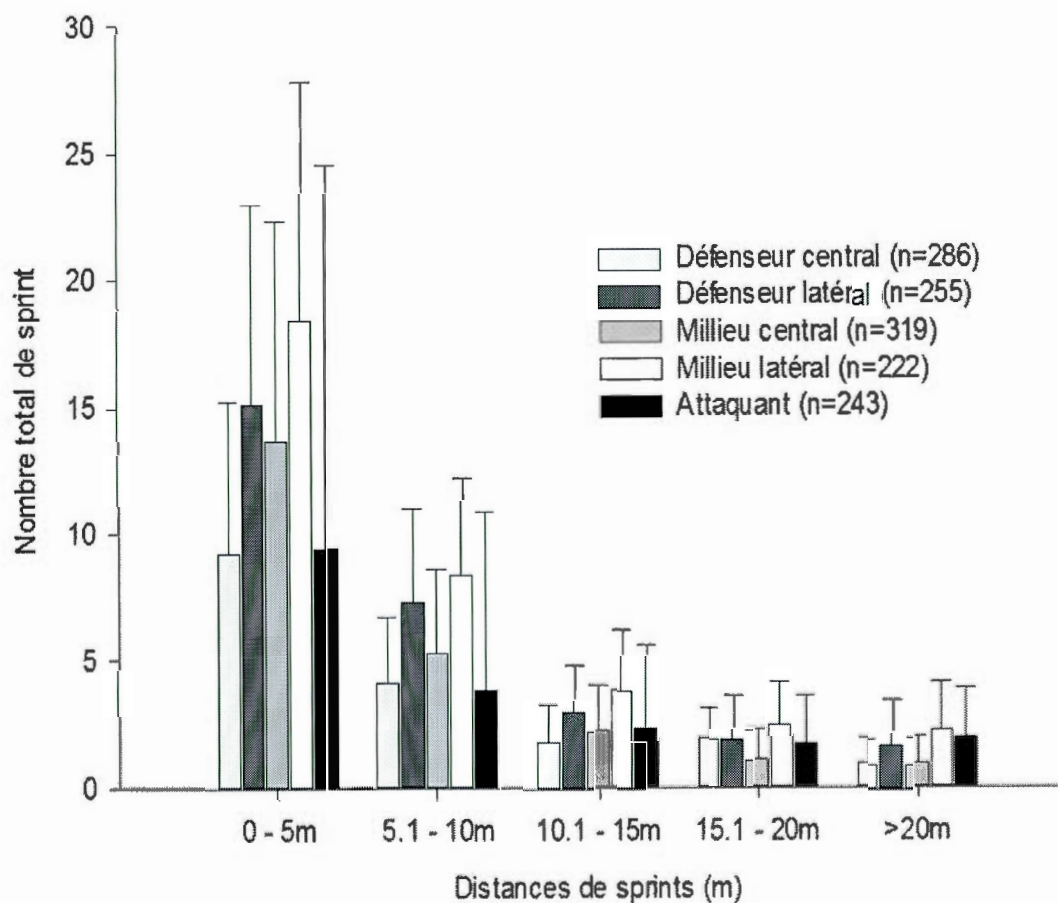


Figure 2.1 Nombre de sprint parcouru par poste de jeu chez des footballeurs professionnels lors des matches de la ligue des champions d'Europe et de la coupe UEFA de 2002 à 2006 (Di Salvo *et al.*, 2010).



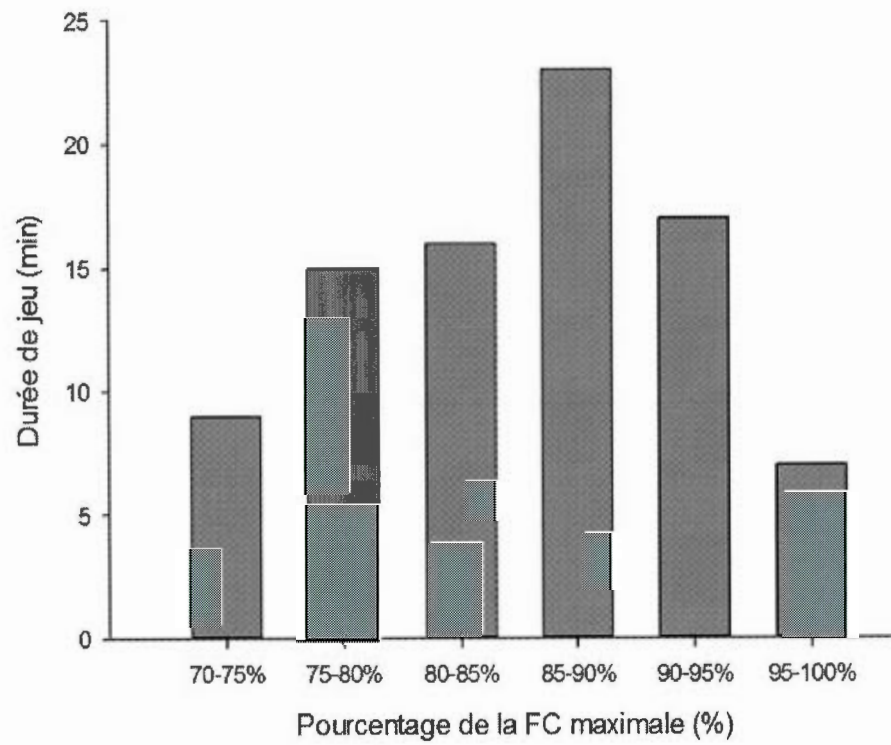


Figure 2.2 Répartition de la FC durant un match de football (Cazorla et Farhi, 1998).

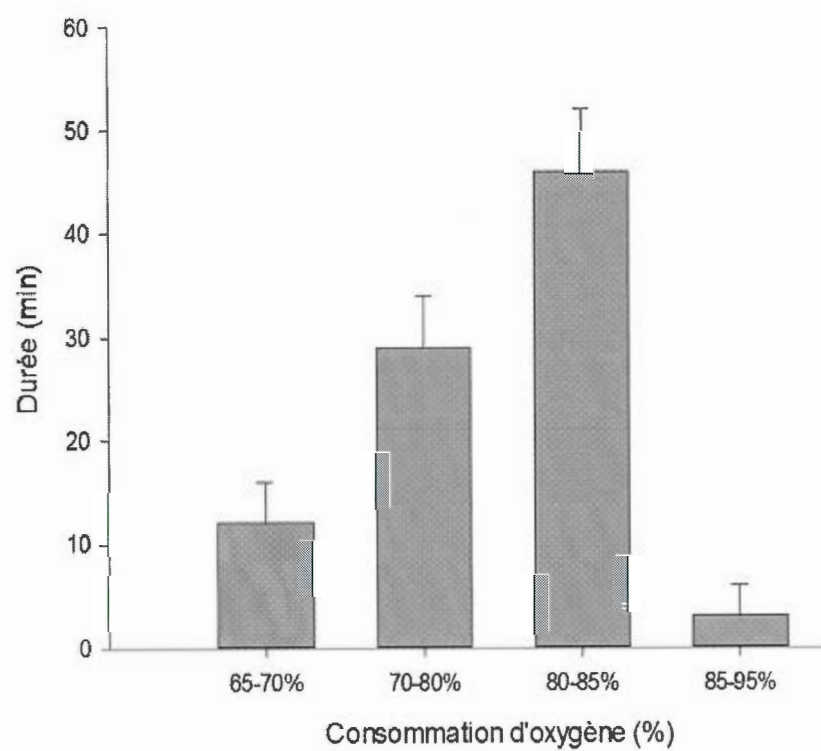


Figure 2.3  $VO_2$  extrapolée durant un match chez des footballeurs professionnels (Cazorla et Farhi, 1998)

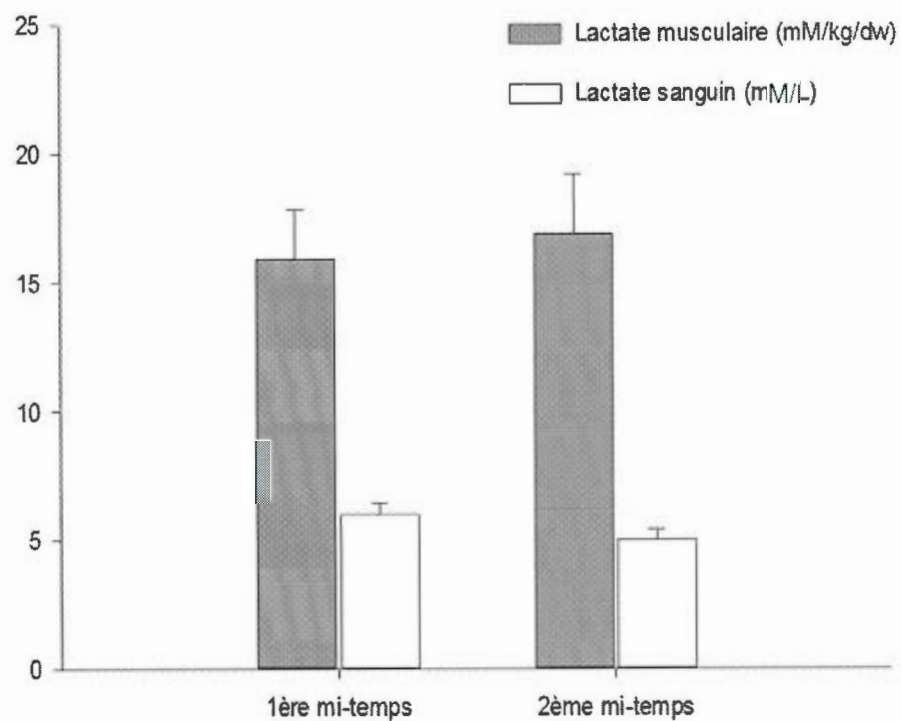


Figure 2.4 Concentration du lactate musculaire (n=7) et sanguin (n=20) en 1re et 2e mi-temps au cours d'un match chez des footballeurs danois de 4e division (Krustrup *et al.*, 2006a).

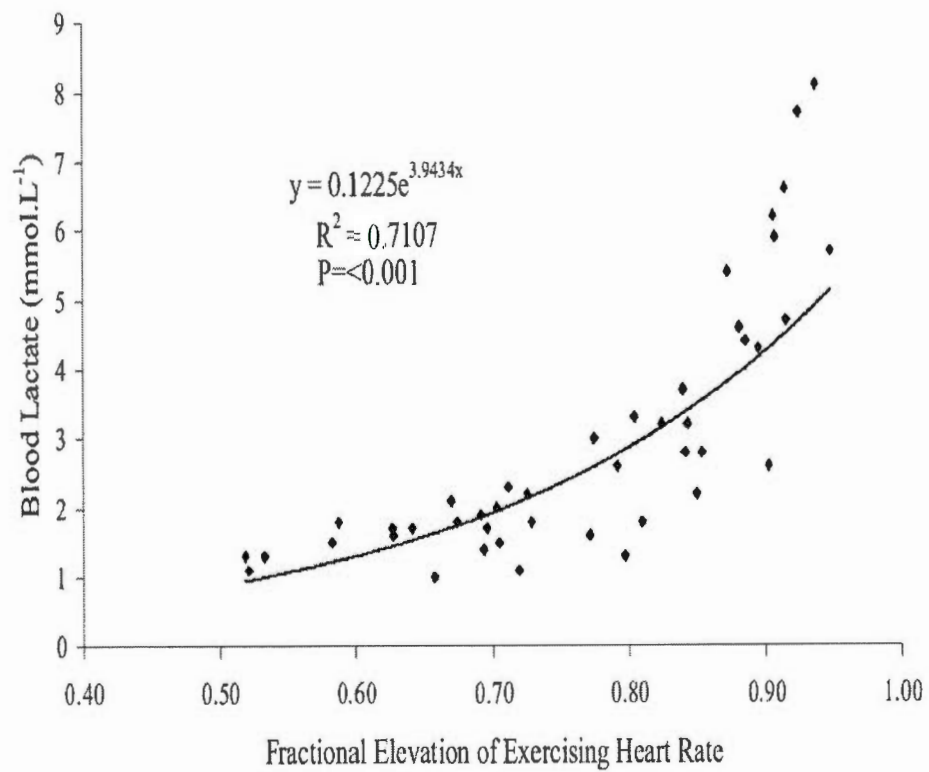


Figure 2.5 Courbe de la relation  $\Delta FC$ -[La] (adapté par Stagno et al. 2007)

Reproduction autorisée par Taylor & Francis Ltd (Janvier 2012)

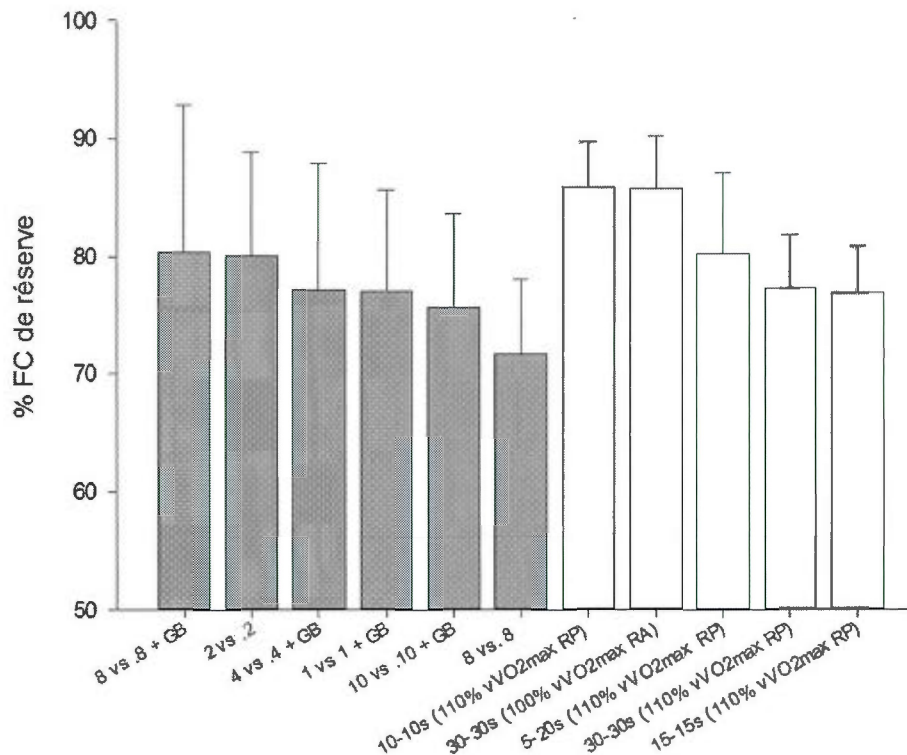


Figure 2.6 Pourcentage de la fréquence cardiaque de réserve (%FCR) durant les jeux réduits versus exercices intermittents en course (Dellal *et al.*, 2008).

GB Gardien de but - vVO2max : vitesse minimale associée

auVO2max RA récupération active - RP récupération passive

Tableau 1 Distances parcourues par des joueurs (Espagne, n=333) de haut niveau selon les postes de jeu, les vitesses de courses et durant chaque mi-temps  
(Di Salvo et al., 2007)

Poste de jeu	Distance (m)	0-11 km/h	11.1-14 km/h	14.1-19 km/h	19.1-23 km/h	> 23 km/h	Avec ballon	% avec ballon
Arrière central	10627	7080	1380*	1257	397	215	119	1,2
Arrière latéral	11410	7012	1590	1730	652	402	220	1,9
Millieu central	12027	7061**	1965*	2116*	627	248	230	1,9
Millieu latéral	11990	6960**	1743	1987	638	446	286	2,4
Attaquants	11254	6958	1562*	1683	621	404	212	1,9
Moyenne	11461	7017	1667	1664	587	343	213	1,9

\* Distance plus grande en 1re mi-temps - \*\* Distance plus grande en 2e mi-temps

Table 2. Réponses physiologiques aux différents jeux réduits décrites par la littérature

Auteurs	Effectif (n)	Design	Préscription	Dimension (m)	Distance en HI (m)	Nombre de sprint (m)	Distance totale (m)	% FCmax	[La] (mmol·L <sup>-1</sup> )	RPE (6-20)
Hill-Haas et al. [91]	12	3 joueurs <sup>e</sup>	24 min	37 x 28	553 ± 187	10 ± 6	2543 ± 187	82.3 ± 3.5	2.5 ± 0.7	16.3 ± 1.6
	16	4 joueurs <sup>e</sup>	24 min		482 ± 178	8 ± 4	2408 ± 231	83.1 ± 4.0	2.5 ± 0.9	14.6 ± 1.9
	8	Floater <sup>e</sup>	24 min		628 ± 132	9 ± 6	2668 ± 220	82.7 ± 3.0	2.3 ± 0.8	16.3 ± 1.5
	20	5 joueurs <sup>e</sup>	24 min	47 x 35	649 ± 190	9 ± 5	2526 ± 302	82.5 ± 5.0	2.5 ± 1.0	15.2 ± 1.0
	24	6 joueurs <sup>e</sup>	24 min		589 ± 177	8 ± 4	2524 ± 247	81.4 ± 5.1	2.6 ± 1.1	14.9 ± 0.9
	4	Floater <sup>e</sup>	24 min		673 ± 194	15 ± 3	2610 ± 201	82.5 ± 5.6	2.8 ± 0.2	16.3 ± 1.7
Hill-Haas et al. [82]	16	2 vs. 2	24 min	28 x 21	1176 ± 8	44 ± 24	2574 ± 16	89.0 ± 4.0	6.7 ± 2.6	13.1 ± 1.5
		4 vs. 4	24 min	40 x 30	2650 ± 18	65 ± 36	1128 ± 10	85.0 ± 4.0	4.7 ± 1.5	12.2 ± 1.8
		6 vs. 6	24 min	49 x 37	2590 ± 33	71 ± 36	1142 ± 16	83.0 ± 4.0	4.1 ± 2.0	10.5 ± 1.5
Surchage	83	3 vs. 3 <sup>e</sup> et								
	56	5 vs. 5 <sup>e</sup>	24 min	47 x 35	582 ± 190	-	2585 ± 204	82.5 ± 4.6	2.6 ± 1.1	15.2 ± 1.4
	41	6 vs. 4	24 min		528 ± 184	-	2458 ± 243	82.3 ± 4.5	2.6 ± 1.0	14.7 ± 1.5
Sous-charge		5 vs. 3 <sup>e</sup>	24 min		598 ± 192	-	2535 ± 247	82.3 ± 4.0	2.6 ± 1.0	15.8 ± 1.5
RPE (CR-10)										
Dellal et al. [90]	20	2 vs. 2 <sup>a</sup>	4 x 2 min/3min	20 x 15	330 ± 30		1305 ± 62	90.3 ± 2.6	3.9 ± 0.3	8.2 ± 0.7
		2 vs. 2 <sup>b</sup>	4 x 2 min/3min	20 x 15	271 ± 39		1212 ± 72	90.1 ± 2.2	3.5 ± 0.3	7.7 ± 0.6
		2 vs. 2 <sup>c</sup>	4 x 2 min/3min	20 x 15	246 ± 38		1158 ± 83	90.0 ± 2.3	3.4 ± 0.2	7.6 ± 0.6
	20	3 vs. 3 <sup>a</sup>	4 x 3 min/3min	25 x 18	523 ± 56		2248 ± 157	90.0 ± 2.4	3.8 ± 0.4	8.1 ± 0.7
		3 vs. 3 <sup>b</sup>	4 x 3 min/3min	25 x 18	474 ± 47		2125 ± 172	89.3 ± 2.8	3.3 ± 0.5	7.9 ± 0.7
		3 vs. 3 <sup>c</sup>	4 x 3 min/3min	25 x 18	423 ± 33		2014 ± 155	89.6 ± 2.2	3.0 ± 0.5	7.5 ± 0.5
	20	4 vs. 4 <sup>a</sup>	4 x 4 min/3min	30 x 20	493 ± 61		3057 ± 250	87.6 ± 2.5	2.9 ± 0.3	8.0 ± 0.7
		4 vs. 4 <sup>b</sup>	4 x 4 min/3min	30 x 20	438 ± 62		2815 ± 220	85.6 ± 2.9	2.8 ± 0.1	7.9 ± 0.8
		4 vs. 4 <sup>c</sup>	4 x 4 min/3min	30 x 20	382 ± 57		2664 ± 237	84.7 ± 2.7	2.9 ± 0.2	7.2 ± 0.5
Köklu et al.	16	1 vs. 1 <sup>c</sup>	6 x 1 min/2min	6 x 18	-	-	-	86.1 ± 4.2	9.4 ± 2.9	-
		2 vs. 2 <sup>c</sup>	6 x 1 min/2min	12 x 24	-	-	-	88.0 ± 4.9	8.0 ± 2.8	-
		3 vs. 3 <sup>c</sup>	6 x 1 min/2min	18 x 30	-	-	-	92.8 ± 4.1	7.5 ± 2.5	-
		4 vs. 4 <sup>c</sup>	6 x 1 min/2min	24 x 36	-	-	-	91.5 ± 3.6	7.2 ± 2.5	-
					-	-	-			
					-	-	-			
Rampinini et al. [80]	20	3 vs. 3 <sup>c</sup>	4 x 3 min/3min	15 x 25	-	-	-	88.6 ± 2.9	4.4 ± 1.1	7.0 ± 0.6
		4 vs. 4 <sup>c</sup>	4 x 3 min/3min	20 x 30	-	-	-	86.7 ± 3.0	4.3 ± 1.4	6.6 ± 0.6
		5 vs. 5 <sup>c</sup>	4 x 3 min/3min	25 x 35	-	-	-	86.1 ± 3.7	4.1 ± 1.4	6.2 ± 0.8
		6 vs. 6 <sup>c</sup>	4 x 3 min/3min	30 x 40	-	-	-	85.1 ± 3.3	3.9 ± 1.4	6.0 ± 1.4
Mallo et al. [81]	10	3 vs. 3 <sup>a</sup>	1 x 5 min/10 min	37 x 28	-	-	747 ± 24	91	-	-
		3 vs. 3 <sup>d</sup>	1 x 5 min/10 min	37 x 28	-	-	638 ± 34	88	-	-
					-	-				

a) une touche de balle, b) deux touches de balle, c) touche libre, d) avec gardien de but

II : haute intensité, - données non disponible



## CHAPITRE III

### MÉTHODOLOGIE ET PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE

#### 3.1 Participants

Dix-huit footballeurs ont été recrutés sur une base volontaire au centre d'entraînement «Léonard de Vinci» à Saint Léonard, Montréal, Québec. Un tableau décrivant les caractéristiques des participants est présenté dans la section méthodologie (participants). Pour maximiser les chances de réussite de notre étude, nous avons eu besoin de la collaboration des entraîneurs et de l'équipe technique du club de football de Saint Léonard afin de sélectionner les sujets les plus compétiteurs durant les matches de football. La participation au projet de recherche a été complètement volontaire et aucune attente n'a été exigée par les participants.

##### 3.1.1 Critère d'inclusion

Les participants sélectionnés pour participer à cette étude s'entraînaient régulièrement de 4 à 6 fois par semaine et avaient pratiqué le football pendant au moins 5 années consécutives. Ils étaient âgés de 16 à  $\leq 17$  ans et ils ont tous effectué au préalable un test de course navette (25) permettant de déterminer leur vitesse aérobie maximale (VAM). La participation définitive à cette étude était subordonnée à l'obtention d'une VAM de  $13 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  au minimum et à une participation régulière aux compétitions nationales de football (championnat canadien des sélections, championnat canadien des clubs, etc).

##### 3.1.2 Critère d'exclusion

Les sujets étaient exclus de cette étude s'ils présentaient des déficits neuromusculaires et cognitifs nuisant à la réalisation des sprints avec changement de

direction, s'ils prenaient une médication ayant un impact sur le système cardiovasculaire ou métabolique.

### 3.2 Validité et limites

#### 3.2.1 Validité interne

L'absence de familiarité des participants avec les sprints répétés, entre autres, avec changements de direction, peut générer un problème d'apprentissage moteur, qui éventuellement, peut influencer les réponses physiologiques. L'inexpérience des participants de courir avec un système portable de mesure physiologique comme le Polar Team (cardiofréquencemètre) risque de produire un stress et biaiser ainsi les réponses physiologiques, surtout la FC, qui est une mesure physiologique très sensible au stress.

#### 3.2.2 Validité externe

Le test de Wingate (30-sec) effectué au laboratoire ne reflète pas la motricité de l'activité football et est réalisé dans de manière aspécifique (ergomètre statique, exercice cyclique, groupe des muscles sollicités, etc.). Par conséquent les données recueillies ne fournissent que des informations brutes et peuvent rendre difficile la comparaison avec les sprints répétés sur le terrain. Par ailleurs, le faible nombre de participants évalués dans cette étude ne permet pas d'établir des normes de la performance pour les exercices de sprints répétés (RSA) chez les footballeurs U-17, et par conséquent nos données doivent être interprétées avec prudence par les scientifiques et les professionnels de l'entraînement. De plus, notre expérimentation s'est étendue sur deux semaines pour ne pas perturber le programme d'entraînement des joueurs. Malheureusement, ce délai d'attente entre les différentes phases d'évaluation peut engendrer une fluctuation de la forme physique des joueurs.

### 3.3. Importance de la recherche

Cette recherche est ma première incursion en physiologie appliquée au football. D'un point de vue professionnel, elle peut constituer un tremplin pour élargir mes activités de recherche en plus de mon savoir-faire physiologique en sports de combat et arts martiaux. Sur le plan scientifique, cette recherche aidera à mieux comprendre la physiologie mécanistique des exercices brefs et très intenses. Par ailleurs, aucune étude dans la littérature scientifique n'a détaillé l'analyse de la performance en sprint avec ou sans changement de direction chez le footballeur. Autrement dit, cette étude est la première dans son genre à mesurer et analyser la performance du footballeur durant les sprints répétés par intervalle de 10-m (1100 à 2000 ms). En fin, les résultats de cette étude contribueront à établir un protocole d'entraînement permettant à la fois de développer et d'évaluer la force, la vitesse et la puissance musculaire du footballeur de manière spécifique.

CHAPITRE IV:  
PROJET D'ARTICLE ORIGINAL AVEC COMITÉ DE LECTURE

Manuscrit soumis pour publication à la revue américaine «Journal of Strength Conditioning and Research» (Online ISSN: 1533-4287) .

MUSCLE POWER AND REPEATED LINEAR OR QUADRANGULAR  
SPRINTS BOUTS IN ELITE U17 SOCCER PLAYERS

Cover Letter

This manuscript is an original research and not previously submitted or published anywhere, nor is it being considered elsewhere until a decision is made as to its acceptability by The Journal of Strength and Conditioning Research Editorial Review Board.

Sincerely,

Ramdane ALMANSBA

MUSCLE POWER AND LINEAR OR QUADRANGULAR REPEATED  
SPRINTS BOUTS IN ELITE U17 SOCCER PLAYERS

Almansba Ramdane & Comtois Alain Steve

Exercise Physiology Laboratory, Kinesiology Department,  
University of Quebec at Montreal, Quebec Canada. H3C3P8

Corresponding author: Ramdane ALMANSBA  
Kinesiology Department  
SB 4275  
University of Quebec at Montreal  
C.P. 8888, succursale Centre-Ville  
Montréal, Qc. Canada  
H3C 3P8  
Phone number: 514 987 3000 / ext.1083  
Fax: 514 987 6616  
Email: [almansba.ramdane@uqam.ca](mailto:almansba.ramdane@uqam.ca)

## ABSTRACT

**Objective:** This study aims to establish the relationship between muscle strength and power and linear or quadrangular repeated sprint bouts in elite U17 soccer player.

**Procedures:** Seventeen elite U-17 soccer players performed in randomized trials linear or quadrangular repeated sprints bouts, (linear 40-m or square shape 10-m sides) separated from each other by 48-h recovery. Both types of RSBs were carried out as follows: 6 x 40-m /20-sec passive recovery between bouts. The sprint split-times were measured every 10-m for both types.. The sprint time (best and average of 6 x 40-m), physiological responses (HR,  $[La^-]$ , and RPE) to both types of RSBs and muscle force and power obtained by both the Wingate Test and VJ were recorded and considered for analysis.

**Results:** The quickest 40-m linear sprint was strongly correlated ( $p < 0.01$ ) with strength and peak and average power muscle obtained from the vertical jump (SJ) analysis with Myotest device ( $r = -0.75$ ,  $-0.69$  and  $-0.68$ , respectively), however the average linear RSBs time was weakly correlated ( $p < 0.05$ ) with the peak power and fatigue index measured with the Wingate test ( $r = -0.54$  and  $-0.56$ , respectively). Otherwise, no relationship between LRSBs or QARSBs performance indices was observed for both Wingate test and VJ indices. Also, no association were observed between performance indices of LRSBs and QARSBs. The HR,  $[La^-]$  and RPE responses were significantly ( $p < 0.01$ ) lower during LRSBs compared to the QARSBs

**Conclusion:** Our findings indicate that strength and explosive power (peak and average) measured with Myotest test are better predictors of LRSBs than performances (power and FI) obtained from the Wingate test. As well, the LRSBs and QARSBs are revealed in this study like two different motor abilities that should be taught and evaluated separately

**Keywords:** Soccer, physiology, repeated sprint, Wingate test, Myotest device.



## INTRODUCTION

Most team sports require athletes to regularly repeat short duration, high-intensity bouts of exercise interspersed by period of active recovery (walking, running, etc.) over a prolonged period of match-play. This type of activity can be characterized as succession of brief intermittent efforts, brief and intense and distributed randomly over time. Although running is the predominant exercise, explosive type's efforts such as sprints, jumps, duels, and kicking are determinant factors for successful soccer performance (15). Thus, anaerobic power and sprinting ability are usually considered to be determinant of soccer performance (8, 33).

The Wingate anaerobic test (WAnT) has been widely agreed as a laboratory test to evaluate anaerobic performances capabilities (1). The WAnT has also associated with other measures of anaerobic capacity such as maximal accumulation oxygen deficit, excess post-exercise oxygen consumption, post-exercise plasma lactate and percentage of fast-twitch muscle fibers (23). It has been applied to adults and various age and populations more extensively than other types of short-term exercise tests and was found to be highly valid, reliable, and sensitive (22). This test was used previously to assess the anaerobic performance of sprinter athletes (1, 24). Although the contribution of anaerobic power in soccer performance is recognized, this component of physical fitness is not documented in young (U-17) sub-elite soccer players. However, several recent studies (17, 21) have suggested that the Wingate test may not be the most suitable test for estimating anaerobic power of athletes. Most of these studies focused on the applicability of a cycle ergometer test for assessing anaerobic power for athletes that perform sprinting activities in the field. Indeed, applying this test for intermittent sports, such as soccer appear problematic. A specific test simulating the effort types provide during competition will be better indicator of sport performance.

The "Repeated Sprint Ability" (RSA) concept was presented by Dawson et al. (1991) and consists of a subject's ability to sprint and sprint again regularly (12). In order to understand the physiological mechanisms associated with RSA, sport physiologists and coaches use different protocols of RSA sequences, which can vary sprint distance (20-40 m), number of sprints (6-12 repetitions), recovery period (15-30 sec), and/or trajectory of the sprints (11, 12, 19, 29, 31). The inclusion of changes of direction in RSA has aroused great interest in recent years (6, 28) since direction changed ability has been considered as a predictor of team sports performance (5). Some authors suggested that linear sprinting and sprints with change of direction are two different abilities when taking into account isolated sprints (27), the ability to reiterate sprints with changes of direction has been promoted to be a general quality. To our knowledge, no one study attempted to study the relationship between anaerobic performances and repeated sprinting with several change of direction. Most study documenting the relation between RSA and agility has experimented either one direction change or two direction changes (6). However, this research applied direction changes over very short distances (<10 m) and did not allow to reach a higher running speed. In this case, these actions should not be considered as high intensity actions with direction changes.

## Methods

### Experimental Approach to the Problem

Analysis of the sprint performance of 717 elite soccer player in European Champion League (13) observed that total distance covered at higher intensity ( $>23 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) was 343 m. The highest frequency (60 %) of sprint achieved by the players are over short distances (0–10 m) and the lowest frequency (10 %) are seem in longer distance

(>20 m). However, none study in the literature distinguished the number of sprint with or without direction changes.

Almost researches investigated the RSA measured the total time achieved at every sprint (20 m, 30 m and 40 m) and did not measure the performance time at every distance split (i.e. 5 m, 10 m, etc.). In addition, few studies investigated the RSA with direction changes and almost of theirs applied less of two direction changes in very shorter distance (<10 m). Otherwise, it's more relevant to measure the split time during RSA with or without direction changes at least each 10 m to simulate better the actions of match and offer the possibility to come close from 90 to 100 % of peak speed. This study aims to examine the relationship between anaerobic performance and repeated sprint ability (RSA) with or without direction changes and to compare the physiological responses to RSA in both conditions. The results can conduct us to elaborate and validate of a new RSA and agility test.

## Subjects

Seventeen Canadian U-17 male soccer players (Table 1), members of the Montreal soccer team, accepted to participate in this study. The players' experience ranged from 8 to 12 years and trained regularly 4 to 6 times 2 hours every week and play one match (90 minutes) per weekend. The measurements were assessed in recovery micro-cycles of precompetitive period training. Most training sessions at this training period were devoted to specific training skills using a ball. All players spared from injuries. They were informed about the benefits and eventual risks associated in this study and gave a written consent. This research was approved by the Ethics committee of Science Faculty of University of Quebec at Montreal, Quebec (Canada).

## Procedures

### Anthropometrical measurement

Anthropometrical variables (body mass, body mass index and body fat percentage) were estimated using impedance-meter scale (Omron, Model HBF 500 CAN China)

### Wingate test

Each participant performed a 30-second WAnT on a mechanically braked cycle ergometer (834 E, Monark) in sitting position with the seat height adjusted according to the morphology of each participant. The brake force dropped down when reaching a pedaling frequency of 120 rpm. The testing session started with a 6 minutes standardised warm-up again a resistance of 1 kg at 60 revolution/min including two sprints lasting 3 second performed at the last of the third and the five minutes, respectively, to prepare the subjects for the sprint-like WAnT. After 3 minutes of passive recovery, the player was instructed to sprint at the maximal pedalling rate against a constant resistance corresponding to  $75\text{g.kg}^{-1}$  of the individual's body mass. The players were encouraged vigorously by a voice to preserve as high a velocity as long as possible throughout the test. After test, the player practice 5 minutes of active recovery at 60 revolution/minutes without load in order to avoid any discomfort. The heart rate (HR) was monitored continuously beat to beat during the test using the heart rate monitor (Polar RS800, Finland). The blood sample was taken at the fingertip 2 minutes after Wingate test and lactate was immediately analysed using the Lactate Pro <sup>TM</sup> LT-1710 (Arkray- Japan). The Rating of Perceived Exertion (Borg's scale) was completed individually after the Wingate test to evaluate subjectively the effort provided during this test.

## Myotest-T

Myotest-T is a valid and reliable method for the vertical jump height assessment. It is also an acceptable test for field-based evaluations (7). One another recent study also showed the Myotest-T to be valid field instrument for measuring muscle strength and power in squat jump exercises (9).

All participants performed three trials of squat jumps with their hands on the hips. Only the best squat jump was recorded for each subject. The Myotest-T system includes a tridimensional accelerometer (500 Hz) sensor (10). For each vertical jump trial, the sensor Myotest-T was fixed vertically at the side of hip's participant, on the coxo-femoral joint in agreement with Myotest SA instruction. Five performance variables were studied using the Myotest device including vertical jump (cm), peak power ( $\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), mean power ( $\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) and force ( $\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}$ ).

## Repeated Sprint Bouts

Two types of RSBs bouts were completed by the players. Each type integrated bouts of maximal speeding short distance (40 m) interspersed by 20 sec passive recovery between bouts. The 2 types consisted: (i). 6 x 40 m maximal running speed, separated each of other by 20 seconds of passive recovery. (ii) 4 x10 m squared shape speeding (90 degrees), separated by 20 seconds passive recovery. These specific task variables were chosen as movement patterns typically performed in the game of soccer (13 , 30). Each player completed both bouts of sprints, linear repeated sprint bouts (6 x 40 m) and quadrangular linear repeated sprint bouts [6 x (4 x10 m)], after standardized warming up for the both types of RSBs, respectively. The time for each sprint was used as the criterion score during the subsequent sprint. The criterion of 90% of maximal speed reached in the first sprint should be respected during RSBs to validate the performance. Each player was required should not decreasing more than 10% in LRSBs (6 x 40 m) and more than15% in QARSBs [6 x (4 x10 m)].



If the criterions performance was not respected, the player was required to do again new RSBs design. A photoelectric cell timing system (Alge-Timing Electronic, Vienna, Austria) was used to record the times with higher accuracy (1/1000 seconds). The split sprint times were measured at 10, 20, 30 and 40 m of each RSBs to do an exhaustive analysis of sprints. During the recovery period between sprints, subjects tapered down from the sprint just completed and walked over a 10 m distance. Two sets of timing gates were used and placed in opposite directions, allowing to for participant to start off the subsequent sprint from the same point at which they had ended the previous sprint, thus allow standardizing the rest period. The direction (let go to right or left) of running for quadrangular RSBs was also randomized. Timing was triggered when the player crossed the light beam. Player was encouraged verbally by his teammate during all sprints bouts. Beforehand, the player was instructed to achieve a maximal speeding for each sprint.

The performance indices considered for each type of RSBs, 6 x 40 m linear or quadrangular (square of 4 x 10m) were: the fast 10 m, 20 m, 30 m and 40 m and fast 40 m sprint time (FS), the average sprint time of RSBs (AST), The decrement index (DI) was considered as an indicator of fatigue and was calculated by dividing the sum of the 6 sprint times by the ideal total score and then multiplying by 100 (3). The "total ideal" sprint time was calculated as the fast 40 m sprint time multiplied by 6. The blood lactate concentration was measured 2 minutes after the completion of each RSBs in the same condition of the 30-second Wingate test, using a Lactate Pro <sup>TM</sup> LT-1710 (Arkray- Japan). Heart rate was monitored by telemetry system using a Polar team TM (Polar Electro Oy, Kempele, Finland) hear rate monitor for each RSBs. Rating of perceived exertion (RPE) was completed individually at the end of RSBs by each player assessed. The order of performing the test was randomized and 72 hours period recovery was accorded between two RSBs to allow full recovery period for all players.

The both types of RSBs were realized on a synthetic turf surface field in Montreal stadium during the same schedules of training sessions.

#### Statistical analysis:

The descriptive statistics for all dependent variables were expressed by their mean and standard deviations (Mean  $\pm$  SD). One-way analyse of variance (ANOVA) with repeated measures corrected by Bonferonni was used to compare the physiological response to LRSBs and QARSBs and the paired Student's t-test was completed to pinpoint the significant differences. The Pearson's product moment correlation coefficient was used to establish the relationship between different dependent variables. All data were analysed with IBM SPSS 19.0 software for Windows (Chicago, USA) and all graphics were plotted with the version of Sigma Plot 12.0 software. The significance level was set at  $p < 0.05$ .



## CHAPITRE V

### RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats de cette étude sont présentés dans l'article original soumis pour publication à la revue scientifique «The Journal of Strenght and Conditioning Research».

## RESULTS

Table 1 shows the homogeneity of the study group for age, height and, BMI and experience of soccer training. Nevertheless, we have a heterogeneous group for body mass and fat mass percentage (% FM). We observed a large variance for physiological variables, except the mean power of Wingate test ( $7.50 \pm 0.76 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ ).

Table 1 about here

Table 2 shows significant differences ( $p < 0.01$ ) of physiological and RPE responses during LRSBs compared to the QARSBs, except for the DI that paradoxically seems to be significantly higher ( $p < 0.05$ ) in the LRSBs.

Table 2 about here

As illustrated in the Figure 1, the linear sprint performance increased from the 1st split (0-10 m) until the 3rd (20-30 m) split and decreased in the last split (30-40 m) for all sprint trials. The peak running speed was reached at the 30 m distance for every trial and for all participants.

Figure 1 about here

However, the Figure 2 shows a decreasing of sprint performance in the quadrangular sprint from the 1st sprint to the 2nd sprint and increases at the 3rd sprint to finally diminish on the last split (30-40 m). For most participants, the peak running speed was reached at the 3<sup>rd</sup> split (20-30 m) for QARSBs.

Figure 2 about here

The mean time RSBs for both the linear (empty circles) and quadrangular (empty squares) sprints according to trials are presented in Figure 3. It can be observed that significant differences are present between the 1st sprint and the five subsequent sprints for the LRSBs, but no significant differences were known between the 4<sup>th</sup>, 5<sup>th</sup> and 6<sup>th</sup> sprint trials. For quadrangular sprints, a significant difference was also found between the 1st sprints and subsequent sprints except for the 5<sup>th</sup> sprint that did not differ significantly ( $p>0.05$ ).

Figure 3 about here

Figure 4 presents the linear regression line between LRSBs and QARSBs. it can be seen that there is no relationship between the average times of linear RSBs and quadrangular RSBs ( $r^2=0.23$ ,  $p>0.05$ ).

Figure 4 about here

A significant correlation (Figure 5) was found between the vertical jump (cm) measured with Myotest and the peak power obtained during the Wingate test ( $r^2=0.40$ ,  $p<0.01$ ). The linear regression line equation is  $PP = 0.23VJ \text{ (cm)} + 3.76$  ( $SEE = 1.13 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), where PP is peak power and VJ is vertical jump.

Figure 5 about here

The individual physiological and perceptual responses to the Wingate test, and the LRSBs and the QARSBs, as illustrated in figures 6, 7 and 8, respectively, showed a common tendency in most participants for heart rate (17/17), blood lactate (11/13) and RPE (10/17). In other words, we noticed that for most participants there was a common tendency, i.e. for the HR responses, mean and peak HR responses (Figure.6), higher values of blood lactate concentration (Figure 7) to be greater during QARSBs than during LRSBs. However, comparable RPE responses were observed between QARSBs and Wingate test (Figure 8).

Figure 6, 7 and Figure 8 about here

Finally, when the average group of the physiological and the RPE responses (Table 2) are calculated, it can be seen that there are significant differences ( $p < 0.01$ ) for performance sprint indices, physiological variables and RPE responses between LRSBs and QARSBs ( $p < 0.01$ ). Nevertheless, we did not observe a significant differences ( $p > 0.05$ ) between QARSBs and Wingate test for the blood lactate and RPE responses (data not presented in the manuscript).

The Table 3 shows in bold characters the significant correlation between both types of RSA indices and muscular power measured either with the Wingate test or Myotest device.

## DISCUSSION

We propose a new concept for Repeated Sprint Bouts (RSB) that can be defined as the aptitude of a subject to maintain 100% to 90% of the maximal running speed reached generally during singular sprints ( $< 10$  sec), interspersed by short recovery period ( $\leq 30$  sec).

To the best of our knowledge, the results herein are the first to present 10 meter split times during RSB performed with or without direction changes. These data allow a detailed analysis of soccer players sprint performances. It is very important to emphasize that the literature reports very few studies related to sprints including direction changes (agility) applied to soccer players.

#### Repeated Sprints Bouts Analysis:

As expected, the peak speed in the present study was observed for both linear and quadrangular RSBs during the 1st 40-m trial with the speed loss being apparent at the last (6th trial) for both linear and quadrangular RSBs (Figure 3). The best result observed for the 1st sprint can be explained by the lack of muscle fatigue of players/runners, while the speed loss reached at the last sprint can be consequences of cumulative muscle fatigue induced by RSBs.

The current study shows that during singular bouts, peak speeds were reached at the 3rd split (20-30 m) for linear RSBs (Figure 1) and at the 3rd split (20-30 m) for the quadrangular RSBs (Figure 2). Our findings are in contrast with previous investigations that reported that the peak speed occurred around 40-m during a singular 100-m sprint in sprint athletes (3). The results in the current study may perhaps be explained by chronic physiological adaptations that are particularly derived from the regular practice of soccer. Indeed, soccer activity is characterised by short running distances (<35m) interspersed by active recovery (70 sec) (30). As a consequence, the strength and fitness coach should evaluate the maximal speed of soccer players on the 30-m distance. From a strategic viewpoint, it is recommended for coaches to choose a distance from 35 until 40 m to be certain to measure peak speed that occurs at 30-m, as observed in the current study. It is important for coaches to know the maximal speed of their soccer player cohort to design an adequate training paradigm.

Implementing a training paradigm based on split times will enable to pinpoint accurately the weak points, , and subsequently help to design a training program to correct deficiencies in order to improve sprint performance. The current study showed that the fastest linear sprint (40 m), the 1<sup>st</sup> (0-10m), the 2<sup>nd</sup> (10-20 m) and 4<sup>th</sup> (30-40 m) split times correlated significantly with the lower limb force ( $r = 0.75$ ,  $p < 0.001$ ,  $r = -0.56$ ,  $r = -0.54$ ,  $p < 0.05$  and  $r = -0.49$ ,  $p < 0.05$ , respectively) (see Table 3). This can suggest that lower limbs strength are the determining quality for short sprint performance (10, 20 and 40 m) However, we did not observe any correlation correlations ( $p > 0.05$ ) between Wingate test performance indices and the quadrangular sprints (Table 3). These results mean lower limbs muscles power is not a determinant of sprint performance with direction changes when agility is taken into count with soccer players.

In fact, a drop of speed performance subsequent to the 1<sup>st</sup> trial until the 6<sup>th</sup> trial (Figure 3) was significant for both types of RSBs, meaning that after a single sprint (6-9 sec), 20 sec of passive recovery is not sufficient to maintain peak speed in subsequent sprints. These results have repercussions in the context of RSBs, since short recovery, during short intermittent bouts, have been stated not only to weaken muscular qualities (e.g., running speed), but also harm the specific quality of players (16). On the other hand, the recovery time between each sprint (20 sec) in the current study may have an important effect on the PCr resynthesis. A previous study (4) reported that the average time for PCr resynthesis is approximatively 60-sec, which represents three times the recovery period (20 sec) used in our study. The decreasing in sprint performance for linear RSBs follows a logical progression from the 1<sup>st</sup> until to 6<sup>th</sup> sprint (Figure 3). However, no tendency was revealed for the QRSBs (Figure 3) and each player had his proper strategy in the management of the running speed. This outcome is perhaps due either technical or tactical apprenticeship effects from the 1<sup>st</sup> to 6<sup>th</sup> sprint because of the lack of player familiarity of the player with the protocol types (direction changes at 90 degrees three times). Thus, we propose

familiarization sessions for QARSBs be designed into the training programs in order to avoid the apprenticeship lag.

Relationship between LRSBs or QARSBs indices and lower limbs muscle power.

The absence of correlations between both linear and quadrangular RSBs and Wingate test can reflect the differences of the muscular recruitment patterns. Whereas the RSBs activate a large muscle group and require mainly agonist (quadriceps muscles) and antagonist (hamstring muscles) leg muscles during sprint exercise, the Wingate test requires more the quadriceps muscles, and athletes may feel the sensation of peripheral muscle fatigue within the contractile mechanism that may be caused by hydrogen ion ( $H^+$ ) accumulation induced through anaerobic glycolysis in none fatigue resistant muscle fibre type/groups (18). This may explain the great differences of DIs between Wingate test and RSBs (66 % .vs. 6 %).

Physiological responses of U-17 soccer players to LRSBAs and QARSBs

As expected, the change of direction affected the sprint performance during singular short sprint or RSBs. This is in agreement with a previous study that viewed that the angle and/or the number of direction changes increase significantly the sprint time (34). Similarly, a recent study reported a 30% increase in 25 m sprint times with the addition of changes of direction. The increasing of sprint times is a likely consequence of the time necessary to apply strength deceleration (eccentric contraction) and subsequent cracking accelerations (concentric contraction) as the number of changes of direction increases.

The significant correlation observed in the current study between indices of linear RSBs and Myotest parameters (Table 3) would suggest that the LRSBs can be used to predict the leg muscular power of soccer player and that both can be used interchangeably. Nevertheless, the absence of association between performances of



linear RSBs the Wingate test indices suggests that both tests do not evaluate the same physiological components and should never be used interchangeably to assess soccer players sprinting ability.

The absence of correlation between indices (fastest time, average time and DI) of QARSBs with Wingate test and Myotest indices (table 3) may suggest that the motor abilities required for the QARSBs is a very complex quality and cannot be contracted solely to muscular qualities. Our findings confirm that the agility is very complex and relates both on the cognitive and neuromuscular abilities (scanning visual, timing, reaction time, cracking strength, acceleration and deceleration, etc). The present observations extrapolate the results of one current study (20), which reported that the change of direction abilities during repeated high-speed sprints was also suggested to be a general quality. In the same way, the latter study investigated (32) repeated sprints with or without direction changes concluded that repeated sprint ability required different motor abilities needing different training paradigms. Finally, we can point out that the RSA and agility are mostly separated motor abilities because the common variance is low ( $r^2 < 0.53$ ) according to a review article (5).

Physiological responses to QARSBs were higher compared to the linear RSBs and Wingate for both central (HRs and RPE) and peripheral components ( $[La^-]$ ). This finding can be explained by the higher physiological stress induced by the three consecutives changes of direction at 90 degrees (quadrangular), which were imposed in very short times ( $< 0.5$  sec) both deceleration involving an eccentric contraction and acceleration involving concentric contraction. The three direction changes achieved at 90 degrees are sufficient to impose higher physiological loads to soccer players on the central and peripheral components. The central component seems less involved in energetic processes during linear sprints compared to quadrangular sprints. The higher values of  $[La^-]$  during quadrangular RSBs compared to the linear RSBs can be interpreted by an important depletion of creatine phosphate (PCr) during changes of

directions (26). Although previous investigations underline the predominance of peripheral components of fatigue during shuttle run exercises, the central component, as suggested by Dupont et al, has a significant contribution during running sport activities, such as soccer (14). In the same way, a recent study (32) reported that at the same intensity, the main difference may be at the level of the peripheral component of fatigue, since the blood lactate concentration was higher with shuttle exercises compared to linear running exercise (2). Neuromuscular factors may also have an effect on muscle fatigue during repeated-sprint bouts (26). Our findings, however, are in contrast with a recent study that observed a weak correlation ( $r^2=50\%$ ,  $p<0.05$ ) between average time of RSA with or without direction changes (33)

#### Relationship between DI and lower limbs muscle power

According to previous studies, the decrement index (DI) calculation is the most valid and reliable method of quantifying fatigue in tests of RSA. However, the DI never showed a strong correlation ( $r^2>60\%$ ) with biometrical characteristics or physical skills in any study. Our results did not show associations between linear or quadrangular DIs derived from the Wingate test and Myotest. Similar results were found in previous studies (25) did not show any correlations between DI measured in two designs of RSA (6 x 40 m and 12 x 20 m) and Wingate test performances in under-17 soccer players. In the same way, one very recent study showed inconsistent test-retest reliabilities of DI during RS and agility (ICC=0.19 and 0.11, CV =51 and 46% for RSA and agility, respectively) in soccer players. Thus, the findings in the current study should challenge the constructive validity of DI to monitor the motor abilities of athletes.

### Myotest vs. Wingate test

A significant correlation ( $r=0.68$ ,  $p<0.01$ ) was found between vertical jump measured with the Myotest device and the peak power of Wingate test measured in the first 5-sec signify that both tests measure the ATP-CP energy pathway's performance. We conclude that the Myotest toll give a good indicators of leg muscle power of soccer player. However, we did not find a correlation between average power measured with Myotest and performance indices of Wingate test, this statement may be related to the difference of test duration. In fact, the Wingate test (30-sec) assesses both ATP-CP system and anaerobic energy system while the Myotest (<1s) evaluates certainly the power of ATP-CP energy pathway. We suggest that the Myotest device is a good tool to evaluate the leg peak muscular power of soccer player.

### CONCLUSION

From physiological viewpoint, the Wingate test has a limited interest to predict the performance of soccer players and, in our opinion, none substitute test to predict repeated sprint test performances. Also, it should not be used as tool to evaluate the muscular power for running sportsperson like soccer players, because it is performed on a stationary bicycle and does not simulate the specificity of running activity (dynamic balance, muscles locomotion, changes direction, timing etc.). Contrarily, the Myotest is a specific test (vertical jump to hit the ball with the head) and it is very convenient in field-based situation. In addition, it shows a good validity to predict the leg muscular power of soccer players and performances during repeated sprint bouts

This study showed also that individual splits are necessary for the most accurate analysis of sprinting ability. Simply measuring sprint performance expressed as finish or average total time can provide a limited feedback about sprint performance of soccer players. In addition, players with comparable general sprint performances can display different weaknesses and should be treated independently. Implementing this

paradigm will enable to pinpoint the weakness points, appropriately interpret results, and subsequently design a training program to correct rigorously specific deficiencies, which will be a consequence of an enhancement of performance.

Finally, the repeated sprint bouts with three direction changes at 90 degrees (quadrangular) are more demanding physiologically than repeated sprint bouts without direction changes. This result indicates that sprint with or without direction changes are two different motor abilities and should be developed independently.

## PRACTICAL APPLICATIONS

The strength and fitness coach should always be able to verify if the training load is a sufficient stimulus to induce physiological adaptations. In the absence of monitoring split times, some athletes may accomplish comparable 40-m sprint time performances, but it would not necessarily signify that they share the same strengths and weaknesses. For example, is the acceleration on the first split time (0-10m) comparable, do they reach peak speed at the 3rd split (20-30 m), etc.?

The linear and quadrangular repeated sprint bouts can be integrated in the physical preparation program of young soccer players, but should be used in a progressive training methodological in order to avoid them neuromuscular injury. The coach can prescribe the quadrangular repeated sprint exercises after linear repeated sprint exercises to increase both metabolic and neuromuscular demand to impose for athletes. The types of exercises should be placed in program of development of motor general abilities of young athletes and should precede the technical and tactical training program. In addition, the coach would be able to develop the maximal speed of soccer player over 30-m distance while cracking strength and muscular power over 10-m distance.

### Author Contributions

The experiments study were carried out at the physiology laboratory of Kinesiology Department of University of Quebec at Montreal, Quebec, Canada. The both authors, Almansba Ramdane and Comtois Alain Steve participated to the conception and design of the experiments, collection, analysis and interpretation of data and drafting of the manuscript according to the requirement of the «Journal of Strength and Conditioning Research».

### Acknowledgement

We likewise gratefully acknowledge the cooperation of the soccer players, the coaching and the support technical staff. Thank you to Redouene Bouzelata for his generous assistance in data collections.

### Disclosure of interest

The both authors (Almansba and Comtois) declare that they have not any conflict of interest regarding this article.



## RÉFÉRENCES

1. Aziz AR. Correlation between tests of running repeated sprint ability and anaerobic capacity by Wingate cycling in multi-sprint sports athletes. *Int J App Sports Sci* 2004: 14-22, 2004.
2. Bisciotti NG, Sagnol JM, and Filaire E. Aspetti bioenergetici della corsa frazionata nel calcio., in: *Scuola dello sport*, . Italie.: n° 50, 2000.
3. Bishop D, Girard O, and Mendez-Villanueva A. Repeated-sprint ability part II: Recommendations for training. *Sports Med* 41: 741-756, 2011.
4. Bogdanis GC, Nevill ME, Lakomy HKA, and Boobis LH. Power output and muscle metabolism during and following recovery from 10 and 20 s of maximal sprint exercise in humans. *Acta Physiol Scand* 163: 261-272, 1998.
5. Brughelli M, Cronin J, Levin G, and Chaouachi A. Understanding change of direction ability in sport: a review of resistance training studies. *Sports Med* 38: 1045-1063, 2008.
6. Buchheit M, Haydar B, and Ahmaidi S. Repeated sprints with directional changes: do angles matter? *J Sports Sci* 30: 555-562, 2012.
7. Casartelli N, Müller R, and Maffiuletti NA. Validity and reliability of the myotest accelerometric system for the assessment of vertical jump height. *J Strength Cond Res* 24: 3186, 2010.
8. Cometti G, Maffiuletti N, Pousson M, Chatard J, and Maffulli N. Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *Int J Sports Med* 22: 45-51, 2001.
9. Comstock BA, Solomon-Hill G, Flanagan SD, Earp JE, Luk HY, Dobbins KA, Dunn-Lewis C, Fragala MS, Ho JY, and Hatfield DL. Validity of the Myotest® in measuring force and power production in the squat and bench press. *J Strength Cond Res* 25: 2293, 2011.
10. Crewther B, Kilduff L, Cunningham D, Cook C, Owen N, and Yang G. Validating Two Systems for Estimating Force and Power. *Int J Sports Med* 32: 254, 2011.
11. Dawson B, Ackland T, Roberts C, and Lawrence S. Repeated effort testing: the phosphate recovery test revisited. *Sports Coach* 14: 12-17, , 1991.
12. Dawson B, Fitzsimons M, and Ward D. The relationship of repeated sprint ability to aerobic power and performance measures of anaerobic work capacity and power. *Aust J Sci Med Sport* 25: 88-93, 1993.
13. Di Salvo V, Baron R, González-Haro C, Gormasz C, Pigozzi F, and Bachl N. Sprinting analysis of elite soccer players during European Champions League and UEFA Cup matches. *J Sports Sci* 28: 1489-1494, 2010.
14. Dupont G, Blondel N, and Billat V. Relation entre distance limite et temps limite de course pour des exercices intermittents brefs (15s) à allures supramaximales. Presented at VIIIème Congrès international de l'ACAPS, Suisse, 1999.



15. Faude O, Koch T, and Meyer T. Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *J Sports Sci* 30: 625-631, 2012.
16. Ferrauti A, Weber K, and Pluim BM. The effect of the recovery duration on the speed and stroke quality during intermittent training drills in professional tennis players. *Geneeskunde en Sport* 34: 214-219, 2001.
17. Fitzsimons M, Dawson B, Ward D, and Wilkinson A. Cycling and running tests of repeated sprint ability. *Aust J Sci Med Sport* 25: 82-82, 1993.
18. Gladden LB. Lactate metabolism: A new paradigm for the third millennium. *J Physiol* 558: 5-30, 2004.
19. Glaister M. Multiple sprint work: physiological responses, mechanisms of fatigue and the influence of aerobic fitness. *Sports Med* 35: 757-777, 2005.
20. Haydar B, al Haddad H, Ahmaidi S, and Buchheit M. Assessing inter-effort recovery and change of direction ability with the 30-15 intermittent fitness test. *J Sports Sci Med* 10: 346-354, 2011.
21. Hoffman JAYR, Epstein S, Einbinder M, and Weinstein Y. A comparison between the Wingate anaerobic power test to both vertical jump and line drill tests in basketball players. *J Strength Cond Res* 14: 261, 2000.
22. Inbar O. Development of anaerobic power and local muscular endurance. *The Encyclopedia of Sports Medicine: The Child and the Adolescent Athlete*: 42-53, 1996.
23. Inbar O, Bar-Or O, and Skinner JS. The Wingate Anaerobic Test. *Champaign (IL): Human Kinetics*: 16-22, 1996.
24. Legaz-Arrese A, Munguía-Izquierdo D, Carranza-García LE, and Torres-Dávila CG. Validity of the Wingate anaerobic test for the evaluation of elite runners. *J Strength Cond Res* 25: 819, 2011.
25. Meckel Y, Machnai O, and Eliakim A. Relationship among repeated sprint tests, aerobic fitness, and anaerobic fitness in elite adolescent soccer players. *J Strength Cond Res* 23: 163, 2009.
26. Mendez-Villanueva A, Hamer P, and Bishop D. Fatigue in repeated-sprint exercise is related to muscle power factors and reduced neuromuscular activity. *Eur J Appl Physiol* 103: 411-419, 2008.
27. Salaj S and Markovic G. Specificity of jumping, sprinting, and quick change-of-direction motor abilities. *J Strength Cond Res* 25: 1249-1255, 2011.
28. Sheppard J and Young W. Agility literature review: Classifications, training and testing. *J Sports Sci* 24: 919-932, 2006.30.
29. Spencer M, Bishop D, Dawson B, Goodman C, and Duffield R. Metabolism and performance in repeated cycle sprints: Active versus passive recovery. *Med Sci Sports Exerc* 38: 1492-1499, 2006.
30. Stolen T, Chamari K, Castagna C, and Wisloff U. Physiology of soccer: an update. *Sports Med* 35: 501-536, 2005.

31. Wadley G and Le Rossignol P. The relationship between repeated sprint ability and the aerobic and anaerobic energy systems. *J Sci Med Sport* 1: 100-110, 1998.
32. Wong DP, Chan GS, and Smith AW. Repeated-sprint and change-of-direction abilities in physically active individuals and soccer players: Training and testing implications. *J Strength Cond Res* 26: 2324-2330, 2012.
33. Wragg C, Maxwell N, and Doust J. Evaluation of the reliability and validity of a soccer-specific field test of repeated sprint ability. *Eur J Appl Physiol* 83: 77-83, 2000.
34. Young WB, McDowell MH, and Scarlett BJ. Specificity of Sprint and Agility Training Methods. *J Strength Cond Res* 15: 315-319, 2001.

### Figure Legends

- Figure 1 Curve of average time of LRSBs evolution (6 x 40-m) with average time to each 10-m split of elite U-17 soccer players (n=17). Each line identifies the number of the sprint. A mean total score ranged from 5.74 to 6.74 sec.
- Figure 2 Curve of average QARSBs evolution (6 x 40 m) with average time each 10 m split of elite U-17 soccer players (n=17). Each line identifies the number of the sprint. A mean total score ranged from 7.78 to 9.10 sec.
- Figure 3 Sprint time evolution from the 1st 40 m until 6th 40 m for both LRSBs and QARSBs of elite U-17 soccer players (n=17).
- Figure 4 Linear regression line of average time of repeated sprint bouts with or without direction changes.
- Figure 5 Linear regression line of vertical jump measured with Myotest device and Wingate peak power of elite U-17 soccer player (n=17)
- Figure 6 Individual heart rates responses of each U-17 soccer player to Wingate test, LRSBs and QARSBs.
- Figure 7 Individual blood lactate responses of each U-17 soccer player to Wingate test, LRSBs and QARSBs.
- Figure 8 RPE responses to Wingate test, LRSBs and QARSBs for each U-17 soccer playes.

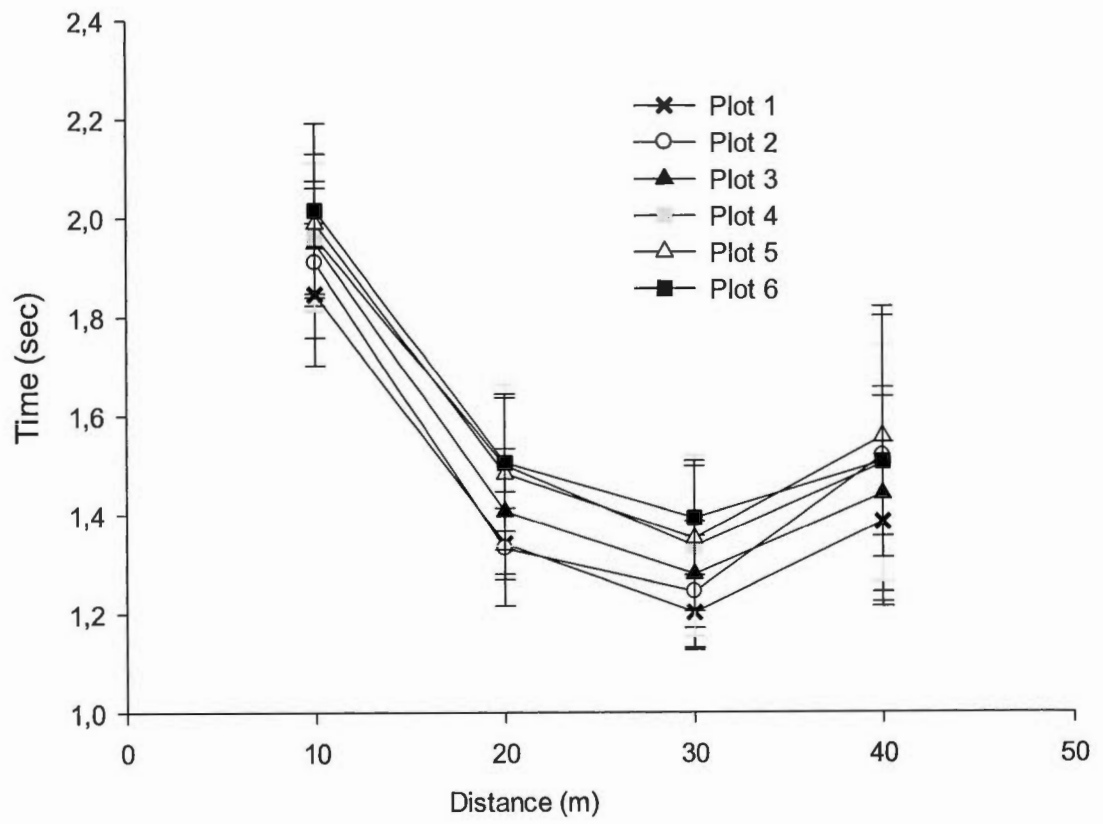


Figure 1

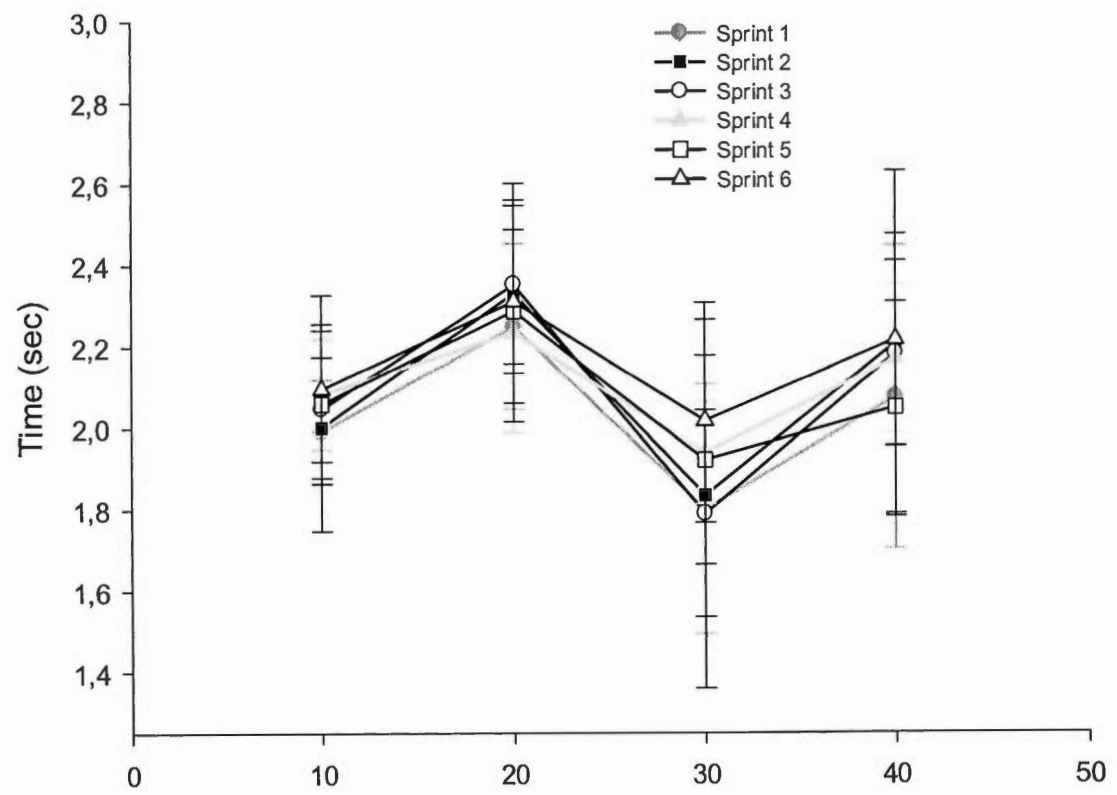


Figure 2

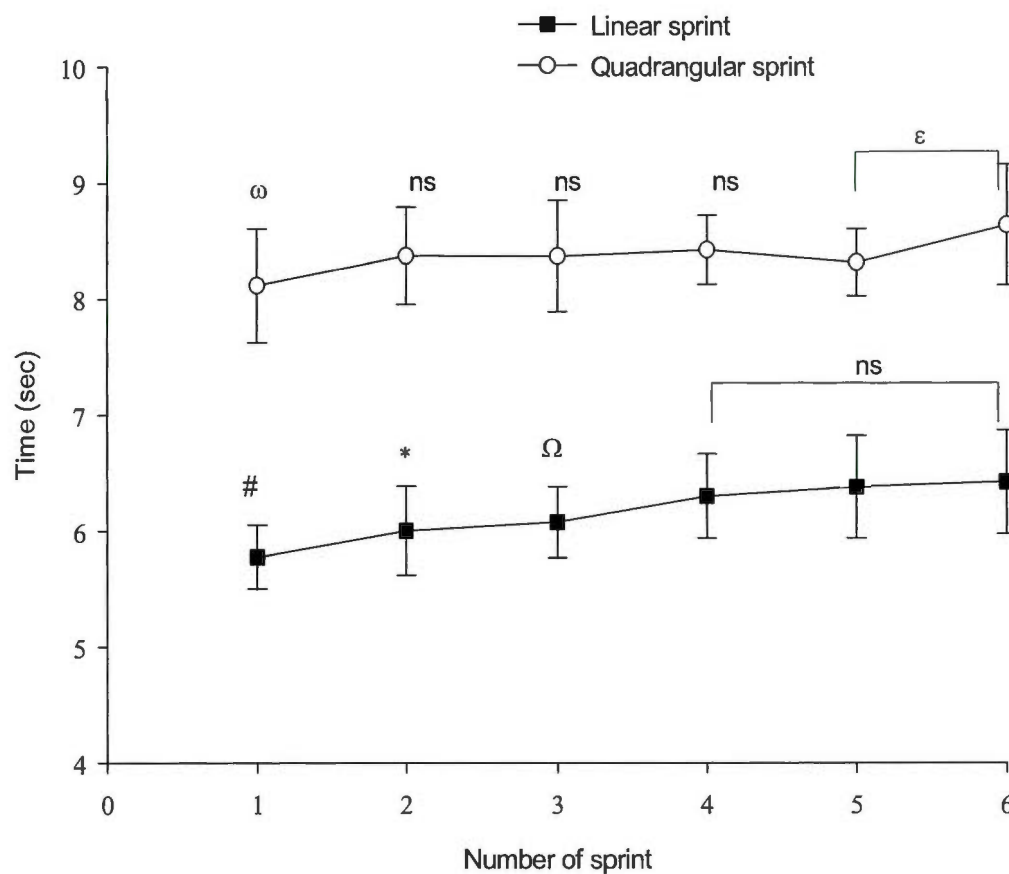


Figure 3

- # Significantly different from sprint 2 and sprint 3, 4, 5 and sprint 6 ( $P < 0.001$ ).
- \* Significant difference with sprint 4 ( $p < 0.01$ ), sprint 5 and sprint 6 ( $p < 0.001$ ).
- Ω Significant difference ( $p < 0.01$ ) with sprint 4, sprint 5 and sprint 6 ( $p < 0.001$ ).
- ω Significant difference ( $p < 0.01$ ) with sprint 2, 3, sprint 4 and sprint 6 ( $p < 0.001$ ).
- ε Significant difference ( $p < 0.05$ ) between sprint 5 and sprint 6..
- Ns No significance

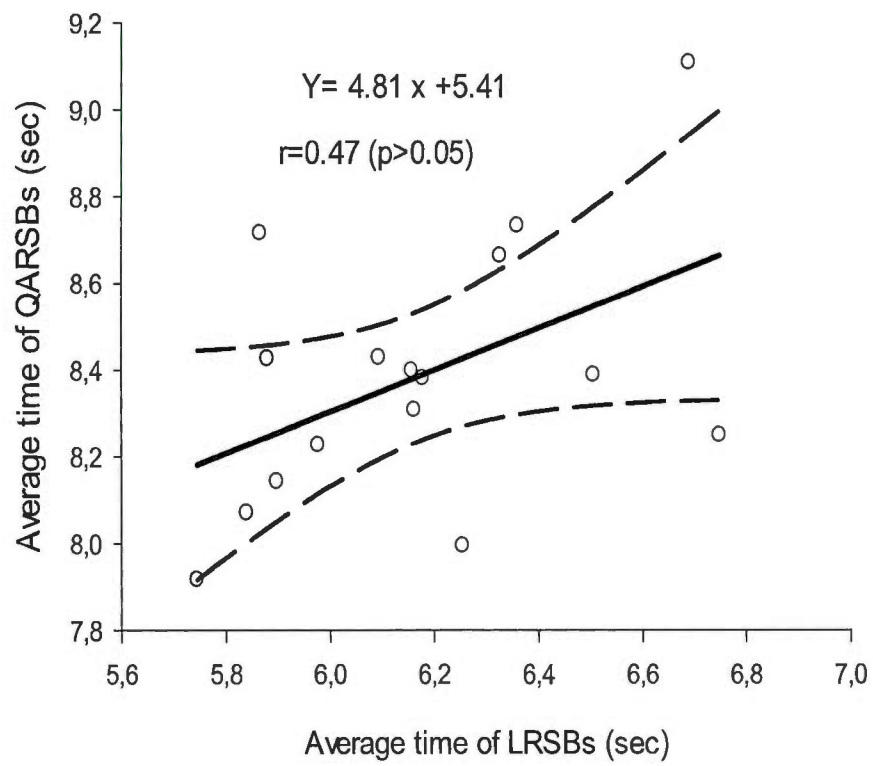


Figure 4



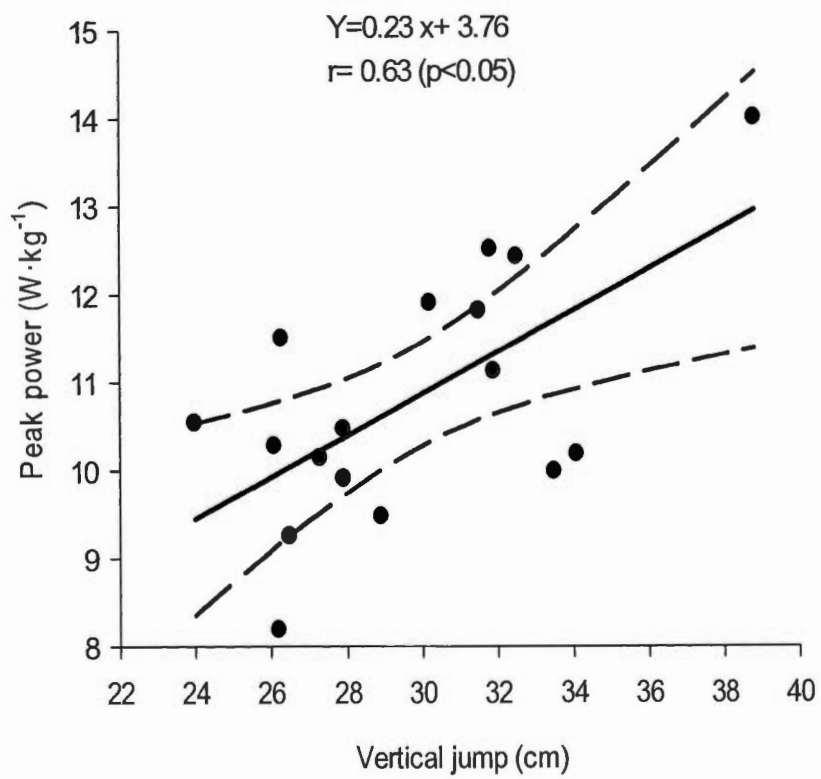


Figure 5

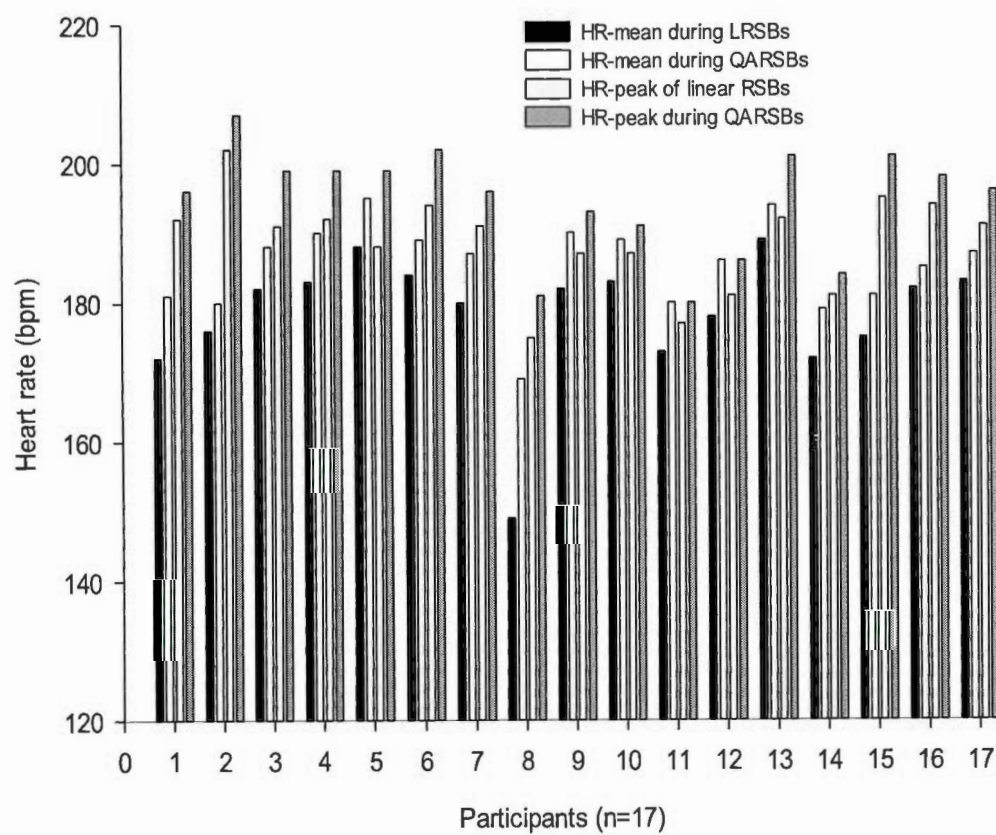


Figure 6

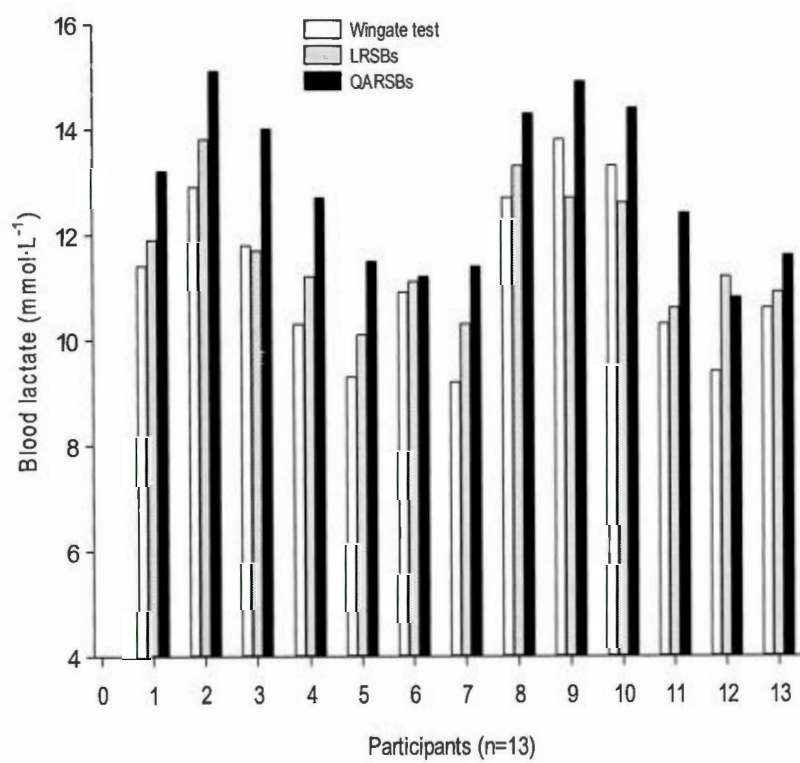


Figure 7

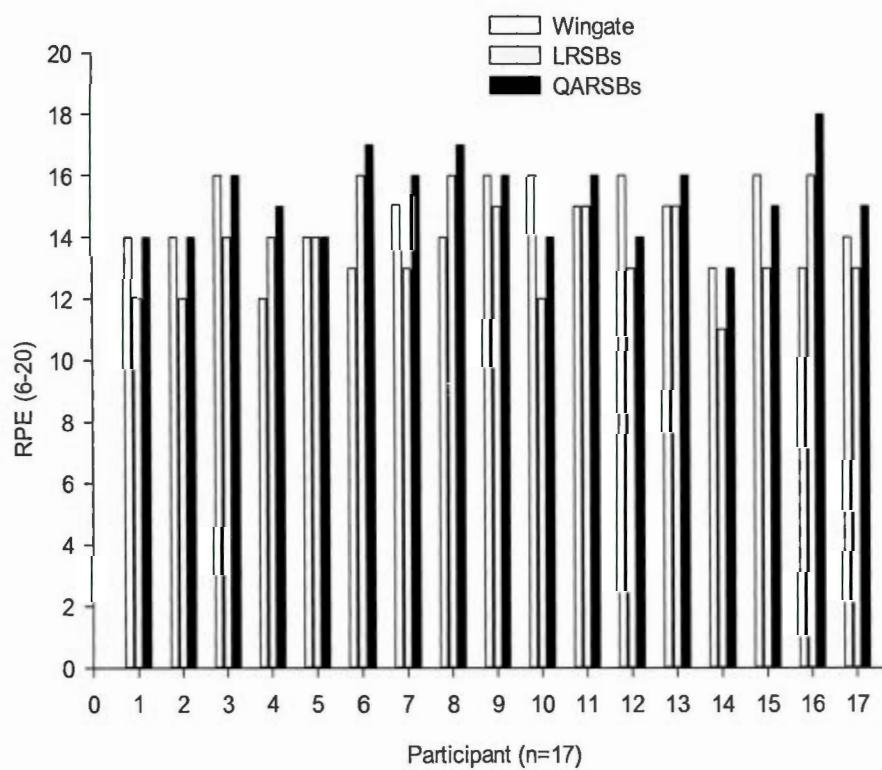


Figure 8

Table 1: Anthropometrical variables and physiological performances (Mean  $\pm$ SD) of soccer player (n=17)

Athropometric variables	Physiological performance of soccer player				
	Wingate test performances		Myotest performances		
Age (years)	16 ± 0.35	Peak power (W .kg <sup>-1</sup> )	10.80 ± 1.42	Vertical jump (cm)	29.72 ± 3.78
Body mass (kg)	66.50 ± 8.69	Mean power (W .kg <sup>-1</sup> )	7.50 ± 0.76	Peak power (W .kg <sup>-1</sup> )	48.42 ± 7.42
Height (cm)	1.75 ± 0.05	Fatigue index (%)	61.83 ± 10.51	Mean power (W .kg <sup>-1</sup> )	45.43 ± 6.98
BMI (kg.m <sup>-2</sup> )	21.49 ± 2.11	[La] (mmol.L <sup>-1</sup> )	8.75 ± 5.26	Force (N.kg <sup>-1</sup> )	27.44 ± 3.49
FM (%)	11.28 ± 3.99	Borg's RPE scale (6-20)	14.47 ± 1.28	Velocity (m.s <sup>-1</sup> )	223.23 ± 21.21
Experience (âge)	10 ± 2.0				

BMI: Body mass index- FM: fat mass

Table 2 Sprint performance indices and physiological responses to LRSBs and QARSBs in elite U-17 soccer players (n=17)

	LRSBs (6 x40 m)		QARSB [6x(4x10m)]	
		Mean $\pm$ SD		Mean $\pm$ SD
Performance indices	Fast 40 m sprint	5.75 $\pm$ 0.28	Fast 40 m sprint	7.97 $\pm$ 0.39***
	Average RSB (sec)	6.16 $\pm$ 0.29	Average RSB (sec)	8.37 $\pm$ 0.30***
	DI (%)	6.68 $\pm$ 3.08	DI (%)	4.79 $\pm$ 1.98**
Physiological responses	Average HR (bpm)	178 $\pm$ 9	Average HR (bpm)	189 $\pm$ 7***
	HR-peak (bpm)	185 $\pm$ 6	HR-peak (bpm)	195 $\pm$ 8**
	[La <sup>-</sup> ] (mmol.L <sup>-1</sup> ) <sup>a</sup>	11.6 $\pm$ 1.2	[La <sup>-</sup> ] (mmol.L <sup>-1</sup> )	12.9 $\pm$ 1.5*
	RPE (6-20)	13.9 $\pm$ 1.8	RPE (6-20)	15.2 $\pm$ 1.6**

RSB repeated sprint bouts

\*\*\* p<0.001

\*\* p<0.001 and \* p<0.05.

<sup>a</sup> n=13 subjects

DI decrement index

**Table 3** : Correlation between linear or quadrilinear RSA indices and muscular performance of soccer player (n=17)

Sprint design (6x 40 m)	Performance indices	Wingate performance			Myotest performance			
		Peak power (W.kg <sup>-1</sup> )	Mean power	Fatigue index (%)	Vertical jump (cm)	Peak power (W.kg <sup>-1</sup> )	Mean power	Force (N)
LRSBs	Fastest sprint time (sec)	-0.33	-0.01	<b>-0.58</b>	-0.37	<b>-0.68</b>	<b>-0.68</b>	<b>-0.75</b>
	Mean sprint time (sec)	<b>-0.54</b>	-0.31	<b>-0.56</b>	-0.31	-0.43	-0.41	-0.34
	Decrement index (%)	-0.29	-0.44	-0.07	0.08	0.45	0.36	<b>0.62</b>
	Split 0 - 10m	-0.21	0.24	0.08	0.01	-0.41	-0.39	<b>-0.56</b>
	Split 10 - 20m	-0.36	0.24	-0.16	-0.1	-0.29	-0.4	<b>-0.54</b>
	Split 20 - 30m	0.01	0.02	-0.07	-0.13	-0.24	-0.18	-0.19
	Split 30 - 40m	-0.26	-0.44	<b>-0.66</b>	<b>-0.58</b>	<b>-0.56</b>	<b>-0.57</b>	<b>-0.49</b>
QARSBs	Fastest sprint time (sec)	-0.28	-0.42	-0.26	-0.16	0.05	0.10	-0.08
	Mean sprint time (sec)	-0.3	-0.34	-0.13	-0.25	-0.03	-0.08	-0.19
	Decrement index (%)	0.14	0.41	-0.15	-0.03	-0.29	-0.26	-0.14
	Split 0 - 10m	-0.05	-0.13	-0.18	0.13	-0.32	-0.12	-0.16
	Split 10 - 20m	0.18	0.15	0.02	0.14	-0.1	-0.09	-0.2
	Split 20 - 30m	-0.21	-0.25	-0.29	-0.13	-0.24	-0.18	-0.19
	Split 30 - 40m	0.12	0.29	-0.18	<b>-0.58</b>	<b>-0.57</b>	<b>-0.67</b>	<b>-0.49</b>

R <0.50 significant for p<0.05. R>0.55 significant for p<0.01. LRSBs : linear repeated sprint bouts, QARSBs: quadrangular repeated sprint bouts



Table 4 Relationship between the Wingate Anaerobic Test (WAnT) parameters and Myotest performances indices in elite U-17 soccer players (n=17)

WAnT performances	Myotest performance			
	Vertical jump (cm)	Peak power (W·kg <sup>-1</sup> )	Mean power (W·kg <sup>-1</sup> )	Force (N·kg <sup>-1</sup> )
Peak power (W·kg <sup>-1</sup> )	0.63**	0.17	0.23	0.14
Mean power (W·kg <sup>-1</sup> )	0.44	0.31	0.04	-0.18
Fatigue index (%)	0.4	0.43	0.48*	0.54**

\* p<0.05 \*\* : P<0.01.

## CHAPITRE VI

### CONCLUSION ET PERSPECTIVE

Les données de la présente étude démontrent que le test de Wingate a un intérêt limité pour l'évaluation de la performance du footballeur et ne remplacera aucunement le test d'aptitude à répéter les sprints sur le terrain. En outre, il ne doit pas être considéré comme l'unique outil d'évaluation de la puissance musculaire des membres inférieurs du footballeur, car il est réalisé sur un ergomètre stationnaire et ne reproduit pas fidèlement la spécificité motrice de l'activité du footballeur (dynamique, contraintes posturales et cognitives, unité motrice recrutée, etc.). Par ailleurs, le Myotest est un meilleur indicateur de la performance du footballeur et semble reproduire la gestualité du footballeur (détente verticale) et offre en plus une grande accessibilité. D'un point de vue physiologique, il présente une validité satisfaisante pour prédire la puissance musculaire des membres inférieurs du footballeur.

Cette étude a montré également que les qualités physiques mises en jeu lors d'un sprint de 40-m linéaire diffèrent d'une fraction de distance (10m) à une autre. Par exemple, la force démarrage est très déterminante sur les sprints de très courte distance (0-20 m) alors que la qualité vitesse intervient précisément sur la fraction de 20-30 m. En fin, la fraction de 30-40 m fait intervenir considérablement les qualités de force et de puissance musculaire. Par ailleurs, le pic de vitesse en sprint linéaire est atteint généralement au premier sprint (40 m) et plus précisément au 30 m (20-30 m) chez tous les joueurs U-17 testés dans cette étude. Ce pic de vitesse présente une grande fidélité lors des sprints subséquents.

Le pic de vitesse lors de la RSQA est également atteint sur 30 m, que ce soit en sprint singulier ou répété. Toutefois, ce type de sprint ne semble pas dépendre exclusivement des qualités de force, vitesse et de puissance musculaire.

En effet, d'autres composantes semblent intervenir dans ce type de sprints, par exemple cognitives (bio-informationnel, décisionnel, etc.)

Enfin, les exercices de sprints répétés avec changement de direction (quadrangulaire) sont plus exigeants sur le plan cardiovasculaire et métabolique que les sprints réalisés en ligne droite (linéaire). Ce résultat indique que les sprints répétés avec ou sans changements de direction sont deux habiletés motrices indépendantes qui devraient être développées et évaluées distinctement.

## APPLICATIONS PRATIQUES

L'entraîneur ou le préparateur physique doit toujours analyser la performance en sprint singulier ou répétés de manière la plus précise possible pour espérer d'optimiser la préparation athlétique des footballeurs. En l'absence d'une analyse fine et bien détaillée de la performance en sprint, certains joueurs peuvent afficher des performances physiques ou physiologiques comparables en sprint singulier ou répétés (40-m ou 6 x 40-m) quand elles sont exprimées plutôt en termes de temps total, mais cela ne signifie aucunement qu'ils possèdent les mêmes points forts ou points faibles. Par ailleurs, des interrogations méritent d'être soulevées lors des exercices de sprints (singuliers ou répétés); par exemple ont-ils une accélération identique à la première fraction de sprint (0-10 m)? Atteignent-ils leurs pics vitesse à la même distance de sprint (30 ou 40 m ?), etc.? Ces questions pertinentes doivent être considérées avec beaucoup d'intérêt par le préparateur physique afin de mettre en place un protocole d'entraînement efficace permettant de corriger les points faibles et à consolider les points forts des joueurs.

Les exercices de sprints répétés avec ou sans changement de direction peuvent être intégrés dans la formation académique de jeunes footballeurs, mais doivent être prescrit de façon progressive conformément aux principes de la charge d'entraînement pour prévenir les troubles musculo-squelettiques. Autrement dit, les exercices de sprints avec changements de direction doivent être prescrits après avoir entraîné les joueurs sur des exercices de sprints linéaires. En fin, les exercices de sprints répétés avec ou sans changements de direction peuvent être introduits dans le programme en perspective de développement des habiletés motrices spécifiques des jeunes footballeurs et doivent toujours précéder l'apprentissage des habiletés techniques et tactiques

## RÉFÉRENCES

- Achten J and Jeukendrup AE. Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports Med* 33: 517-538, 2003.
- Akubat I and Abt G. Intermittent exercise alters the heart rate-blood lactate relationship used for calculating the training impulse (TRIMP) in team sport players. *J Sci Med Sport* 14: 249-253, 2011.
- Almansba R, Boucher JP, and Comtois AS. Repeated sprints with or without directions change: role of lower limbs muscle power. ACSM's 60<sup>th</sup> Annual Meeting and 4<sup>th</sup> World Congress on Exercise is Medicine Indianapolis, Indiana, USA., 2013 (Accepted).
- Almansba R, Boucher J-Paule ComtoisAS. Relationships between Muscle Strength and Power of Lower-Extremity and Repeated Sprints With or Without Changes of Direction in Young Soccer Players. 1<sup>st</sup> international Symposium of GRAPA «Muscle: From Human to Cells». Mai 3-4, 2013. Montreal, Canada (Accepted)
- Aziz AR. Correlation between tests of running repeated sprint ability and anaerobic capacity by Wingate cycling in multi-sprint sports athletes. *Int J App Sports Sci* 2004: 14-22, 2004.
- Bangsbo J. The physiology of soccer--with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiol Scand Suppl* 619: 1-155, 1994.
- Bangsbo J, Mohr M, and Krstrup P. Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *J Sports Sci* 24: 665-674, 2006.
- Bangsbo J, Norregaard L, and Thorso F. Activity profile of competition soccer. *Can J Sport Sci* 16: 110-116, 1991.
- Banister E, ed. Modeling elite athletic performance. 1991.
- Banister EW, Calvert TW, Savage MV, and Bach TM. A systems model of training for athletic performance. *Aust J Sports Med* 7: 57-61, 1975.
- Beaver WL, Wasserman K, and Whipp BJ. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physio* 60: 2020-2027, 1986.
- Bisciotti NG, Sagnol JM, and Filaire E. Aspetti bioenergetici della corsa frazionata nel calcio., in: *Scuola dello sport*, . Italie.: n° 50, 2000.
- Bishop D and Castagna C. Repeated sprint ability La scienza della teknosport n°24, novembre décembre 2002 année 6, 2002.
- Bishop D and Edge J. Determinants of repeated-sprint ability in females matched for single-sprint performance. *Eur J Appl Physiol* 97: 373-379, 2006.
- Bishop D, Girard O, and Mendez-Villanueva A. Repeated-sprint ability part II: Recommendations for training. *Sports Med* 41: 741-756, 2011.

- Boettger S, Puta C, Yeragani VK, Donath L, Muller HJ, Gabriel HH, and Bar KJ. Heart rate variability, QT variability, and electrodermal activity during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 42: 443-448, 2010.
- Bogdanis GC, Nevill ME, Lakomy HKA, and Boobis LH. Power output and muscle metabolism during and following recovery from 10 and 20 s of maximal sprint exercise in humans. *Acta Physiol Scand* 163: 261-272, 1998.
- Bot SD and Hollander AP. The relationship between heart rate and oxygen uptake during non-steady state exercise. *Ergonomics* 43: 1578-1592, 2000.
- Bricout V-A, DeChenaud S, and Favre-Juvin A. Analyses of heart rate variability in young soccer players: The effects of sport activity. *Auton Neurosci* 154: 112-116, 2010.
- Brughelli M, Cronin J, Levin G, and Chaouachi A. Understanding change of direction ability in sport: A review of resistance training studies. *Sports Med* 38: 1045-1063, 2008.
- Buchheit M, Haydar B, and Ahmaidi S. Repeated sprints with directional changes: do angles matter? *J Sports Sci* 30: 555-562, 2012.
- Buchheit M, Laursen PB, Kuhnle J, Ruch D, Renaud C, and Ahmaidi S. Game-based training in young elite handball players. *Int J Sports Med* 30: 251-258, 2009.
- Buchheit M, Mendez-Villanueva A, Delhomel G, Brughelli M, and Ahmaidi S. Improving repeated sprint ability in young elite soccer players: repeated shuttle sprints vs. explosive strength training. *J Strength Cond Res* 24: 2715-2722, 2010.
- Buchheit M, Mendez-Villanueva A, Quod MJ, Poulos N, and Bourdon P. Determinants of the variability of heart rate measures during a competitive period in young soccer players. *Eur J Appl Physiol* 109: 869-878, 2010.
- Carling C, Bloomfield J, Nelsen L, and Reilly T. The role of motion analysis in elite soccer: contemporary performance measurement techniques and work rate data. *Sports Med* 38: 839-862, 2008.
- Casartelli N, Müller R, and Maffiuletti NA. Validity and reliability of the myotest accelerometric system for the assessment of vertical jump height. *J Strength Cond Res* 24: 3186, 2010.
- Castagna C, Belardinelli R, Impellizzeri FM, Abt GA, Coutts AJ, and D'Ottavio S. Cardiovascular responses during recreational 5-a-side indoor-soccer. *J Sci Med Sport* 10: 89-95, 2007.
- Castagna C, Belardinelli R, and T AG. The oxygen uptake and heart rate response to training with a ball in youth soccer players. *J Sports Sci* 22: : 532-533, 2004.
- Cazorla G and Farhi A. Football: exigences physiques et physiologiques actuelles. *Revue EPS* 273: 60-66, 1998.
- Chamari K, Hachana Y, Kaouech F, Jeddi R, Moussa-Chamari I, and Wisløff U. Endurance training and testing with the ball in young elite soccer players. *Br J Sports Med* 39: 24-28, 2005.

- Chaouachi A, Manzi V, Wong P, Chaalali A, Laurencelle L, Chamari K, and Castagna C. Intermittent endurance and repeated sprint ability in soccer players. *J Strength Cond Res* 24: 2663-2669, 2010.
- Clemente F, Couceiro MS, Martins FML, and Mendes R. The usefulness of small-sided games on soccer training. *J Phy EduC and Sport* 12: 93-102, 2012.
- Cometti G, Maffiuletti N, Pousson M, Chatard J, and Maffulli N. Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *Int J Sports Med* 22: 45-51, 2001.
- Comstock BA, Solomon-Hill G, Flanagan SD, Earp JE, Luk HY, Dobbins KA, Dunn-Lewis C, Fragala MS, Ho JY, and Hatfield DL. Validity of the Myotest® in measuring force and power production in the squat and bench press. *J Strength Cond Res* 25: 2293, 2011.
- Cottin F, Médigue C, Lopes P, Leprêtre PM, Heubert R, and Billat V. Ventilatory thresholds assessment from heart rate variability during an incremental exhaustive running test. *Int J Sports Med* 28: 287-294, 2007.
- Crewther B, Kilduff L, Cunningham D, Cook C, Owen N, and Yang G. Validating Two Systems for Estimating Force and Power. *Int J Sports Med* 32: 254, 2011.
- Crisafulli A, Pittau G, Lorrain L, Carcassi AM, Cominu M, Tocco F, Melis F, and Concu A. Poor reliability of heart rate monitoring to assess oxygen uptake during field training. *Int J Sports Med* 27: 55-59, 2006.
- Da Silva CD, Impellizzeri FM, Natali AJ, De Lima JRP, Bara-Filho MG, Silami-Gaçla E, and Marins JCB. Exercise intensity and technical demands of small-sided games in young Brazilian soccer players: effect of number of players, maturation, and reliability. *J Strength Cond Res* 25: 2746-2751, 2011.
- Da Silva JF, Guglielmo LGA, and Bishop D. Relationship between different measures of aerobic fitness and repeated-sprint ability in elite soccer players. *J Strength Cond Res* 24: 2115-2121, 2010.
- Dantas EM, Gonçalves CP, Silva ABT, Rodrigues SL, Ramos MS, Andreão RV, Pimentel EB, Lunz W, and Mill JG. Reproducibility of heart rate variability parameters measured in healthy subjects at rest and after a postural change maneuver. *Braz J Med Biol Res* 43: 982-988, 2010.
- Dawson B, Ackland T, Roberts C, and Lawrence S. Repeated effort testing: the phosphate recovery test revisited. *Sports Coach* 14: 12-17, , 1991.
- Dawson B, Fitzsimons M, and Ward D. The relationship of repeated sprint ability to aerobic power and performance measures of anaerobic work capacity and power. *Aust J Sci Med Sport* 25: 88-93, 1993.
- Dellal A. Analyse de l'activité physique du footballeur et de ses conséquences dans l'orientation de l'entraînement: application spécifiques aux exercices intermittents à haute intensité et aux jeux réduits, in: *STAPS*. Université de Strasbourg, France, 2008.



- Dellal A, Chamari K, Pintus A, Girard O, Cotte T, and Keller D. Heart rate responses during small-sided games and short intermittent running training in elite soccer players: a comparative study. *J Strength Cond Res* 22: 1449-1457, 2008.
- Dellal A, Varliette C, Owen A, Chirico EN, and Pialoux V. Small-sided games versus interval training in amateur soccer players: Effects on the aerobic capacity and the ability to perform intermittent exercises with changes of direction. *J Strength Cond Res* 26: 2712-2720, 2012.
- Di Salvo V, Baron R, González-Haro C, Gormasz C, Pigozzi F, and Bachl N. Sprinting analysis of elite soccer players during European Champions League and UEFA Cup matches. *J Sports Sci* 28: 1489-1494, 2010.
- Di Salvo V, Baron R, Tschan H, Calderon Montero FJ, Bachl N, and Pigozzi F. Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *Int J Sports Med* 28: 222-227, 2007.
- Di Salvo V, Gregson W, Atkinson G, Tordoff P, and Drust B. Analysis of high intensity activity in Premier League soccer. *Int J Sports Med* 30: 205-212, 2009.
- Drust B, Atkinson G, and Reilly T. Future perspectives in the evaluation of the physiological demands of soccer. *Sports Med* 37: 783-805, 2007.
- Dupont G, Blondel N, and Billat V. Relation entre distance limite et temps limite de course pour des exercices intermittents brefs (15s) à allures supramaximales. Presented at VIIIème Congrès international de l'ACAPS, Suisse, 1999.
- Edwards S. *The Heart Rate Monitor Book*. . Sacramento: CA: Fleet Feet Press, 1993.
- Faude O, Koch T, and Meyer T. Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *J Sports Sci* 30: 625-631, 2012.
- Felci U, De Vito G, Macaluso A, Marchettoni P, and Sproviero E. Functional evaluation of soccer players during childhood. *Med Sport (Roma)*: 48:221-235, 1995.
- Ferrauti A, Weber K, and Pluim BM. The effect of the recovery duration on the speed and stroke quality during intermittent training drills in professional tennis players. *Geneeskunde en Sport* 34: 214-219, 2001.
- Fitzsimons M, Dawson B, Ward D, and Wilkinson A. Cycling and running tests of repeated sprint ability. *Aust J Sci Med Sport* 25: 82-82, 1993.
- Flanagan T and Merrick E. Quantifying the work-load of soccer players. *Science and Football IV*: 341-349, 2001.
- Foster C, Florhaug JA, Franklin J, Gottschall L, Hrovatin LA, Parker S, Doleshal P, and Dodge C. A New Approach to Monitoring Exercise Training. *J Strength Cond Res* 15: 109-115, 2001.
- Fradua L, Zubillaga A, Caro Ó, Iván Fernández-García Á, Ruiz-Ruiz C, and Tenga A. Designing small-sided games for training tactical aspects in soccer: Extrapolating pitch sizes from full-size professional matches. *J Sports Sci*, 2012.

- Frencken W, Lemmink K, Delleman N, and Visscher C. Oscillations of centroid position and surface area of soccer teams in small-sided games. *EJSS (Champaign, Ill)* 11: 215-223, 2011.
- Gabbett T, Jenkins D, and Abernethy B. Game-based training for improving skill and physical fitness in team sport athletes. *Int J Sports Sci Coach* 4: 273-283., 2009.
- Gamelin FX, Berthoin S, and Bosquet L. Effet de l'entraînement aérobie sur la variabilité de la fréquence cardiaque au repos. *Science et Sports* 24: 128-136, 2009.
- Gladden LB. Lactate metabolism: A new paradigm for the third millennium. *J Physiol* 558: 5-30, 2004.
- Glaister M. Multiple sprint work: physiological responses, mechanisms of fatigue and the influence of aerobic fitness. *Sports Med* 35: 757-777, 2005.
- Gómez DC, Paulis JC, González-Morán A, García-Cueto H, and García-López J. Physiological demand in small-sided games on soccer with different orientation of space. *Rev int cienc deporte* 7: 141-154, 2011.
- Hawkins R, ed. The official FA guide to access an and off the pitch : Fitness for football. 2004.
- Haydar B, al Haddad H, Ahmaidi S, and Buchheit M. Assessing inter-effort recovery and change of direction ability with the 30-15 intermittent fitness test. *J Sports Sci Med* 10: 346-354, 2011.
- Helgerud J, Engen LC, Wisloff U, and Hoff J. Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc* 33: 1925-1931, 2001.
- Hill-Haas S, Coutts A, Rowsell G, and Dawson B. Variability of acute physiological responses and performance profiles of youth soccer players in small-sided games. *J Sci Med Sport* 11: 487-490, 2008.
- Hill-Haas S, Rowsell G, Coutts A, and Dawson B. The reproducibility of physiological responses and performance profiles of youth soccer players in small-sided games. *Int J Sports Physiol Perform* 3: 393-396, 2008.
- Hill-Haas SV, Coutts AJ, Dawson BT, and Rowsell GJ. Time-motion characteristics and physiological responses of small-sided games in elite youth players: The influence of player number and rule changes. *J Strength Cond Res* 24: 2149-2156, 2010.
- Hill-Haas SV, Coutts AJ, Rowsell GJ, and Dawson BT. Generic versus small-sided game training in soccer. *Int J Sports Med* 30: 636-642, 2009.
- Hill-Haas SV, Dawson B, Impellizzeri FM, and Coutts AJ. Physiology of small-sided games training in football: A systematic review. *Sports Med* 41: 199-220, 2011.
- Hill-Haas SV, Dawson BT, Coutts AJ, and Rowsell GJ. Physiological responses and time-motion characteristics of various small-sided soccer games in youth players. *J Sports Sci* 27: 1-8, 2009.

- Hoff J and Helgerud J. Endurance and strength training for soccer players: physiological considerations. *Sports Med* 34: 165-180, 2004.
- Hoff J, Wisløff U, Engen LC, Kemi OJ, and Helgerud J. Soccer specific aerobic endurance training. *Br J Sports Med* 36: 218-221, 2002.
- Hoffman JAYR, Epstein S, Einbinder M, and Weinstein Y. A comparison between the Wingate anaerobic power test to both vertical jump and line drill tests in basketball players. *J Strength Cond Res* 14: 261, 2000.
- Hopkins WG. Quantification of training in competitive sports. Methods and applications. *Sports Med* 12: 161-183, 1991.
- Iellamo F, Pigozzi F, Spataro A, Lucini D, and Pagani M. T-wave and heart rate variability changes to assess training in world-class athletes. *Med Sci Sports Exerc* 36: 1342-1346, 2004.
- Impellizzeri FM, Marcora SM, Castagna C, Reilly T, Sassi A, Iaia FM, and Rampinini E. Physiological and performance effects of generic versus specific aerobic training in soccer players. *Int J Sports Med* 27: 483-492, 2006.
- Impellizzeri FM, Rampinini E, and Marcora SM. Physiological assessment of aerobic training in soccer. *J Sports Sci* 23: 583-592, 2005.
- Inbar O. Development of anaerobic power and local muscular endurance. *The Encyclopedia of Sports Medicine: The Child and the Adolescent Athlete*: 42-53, 1996.
- Inbar O, Bar-Or O, and Skinner JS. The Wingate Anaerobic Test. *Champaign (IL): Human Kinetics*: 16-22, 1996.
- Janse Van Rensburg C, Grant MR, Viljoen J, and Sommerville NS. Heart rate variability: Standardisation of methodology. Presented at Asics Conference of Science and Medicine in Sport, 2010.
- Kaikkonen P, Rusko H, and Martinmäki K. Post-exercise heart rate variability of endurance athletes after different high-intensity exercise interventions. *Scand J Med Sci Sports* 18: 511-519, 2008.
- Karvonen J and Vuorimaa T. Heart rate and exercise intensity during sports activities. Practical application. *Sports Med* 5: 303-311, 1988.
- Kemi OJ, Hoff J, Engen LC, Helgerud J, and Wisløff U. Soccer specific testing of maximal oxygen uptake. *J Sports Med Phys Fitness* 43: 139-144, 2003.
- Köklü Y. A comparison of physiological responses to various intermittent and continuous small-sided games in young soccer players. *Journal of Human Kinetics* 31: 89-96, 2012.
- Köklü Y, Aşçi A, Koçak FU, Alemdaroğlu U, and Dündar U. Comparison of the physiological responses to different small-sided games in elite young soccer players. *J Strength Cond Res* 25: 1522-1528, 2011.
- Krustrup P, Mohr M, Steensberg A, Bencke J, Kjaer M, and Bangsbo J. Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Med Sci Sports Exerc* 38: 1165-1174, 2006.

- Krustrup P, Mohr M, Steensberg A, Bencke J, Klær M, and Bangsbo J. Muscle and blood metabolites during a soccer game: Implications for sprint performance. *Med Sci Sports Exerc* 38: 1165-1174, 2006.
- Legaz-Arrese A, Munguía-Izquierdo D, Carranza-García LE, and Torres-Dávila CG. Validity of the Wingate anaerobic test for the evaluation of elite runners. *J Strength Cond Res* 25: 819, 2011.
- Leger L and Boucher R. An indirect continuous running multistage field test: The Universite de Montreal track test. *Can J Appl Sport Sci* 5: 77-84, 1980.
- Leger L and Lambert J. A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict  $\text{VO}_2$  max. *Eur J Appl Physiol* 49: 1-12, 1982.
- Lippi M. Interview of Marcelo Lippi, in: *The technician - UEFA Newsletters for coaches* 2007.
- Mallo J and Navarro E. Physical load imposed on soccer players during small-sided training games. *J Sports Med Phys Fitness* 48: 166-171, 2008.
- Manzi V, Castagna C, Padua E, Lombardo M, D'Ottavio S, Massaro M, Volterrani M, and Iellamo F. Dose-response relationship of autonomic nervous system responses to individualized training impulse in marathon runners. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 296: H1733-H1740, 2009.
- McMillan K, J Helgerud J, R Macdonald R, and Hoff J. Physiological adaptations to soccer specific endurance training in professional youth soccer players. *Br J Sports Med* 39:: 273-277, 2005.
- Meckel Y, Machnai O, and Eliakim A. Relationship among repeated sprint tests, aerobic fitness, and anaerobic fitness in elite adolescent soccer players. *J Strength Cond Res* 23: 163, 2009.
- Medbø JI. Is the Maximal Accumulated Oxygen Deficit an Adequate Measure of the Anaerobic Capacity? *Can J Appl Physiol* 21: 370-383, 1996.
- Medbo JI, Mohn AC, Tabata I, Bahr R, Vaage O, and Sejersted OM. Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O<sub>2</sub> deficit. *J Appl Physiol* 64: 50-60, 1988.
- Mendez-Villanueva A, Hamer P, and Bishop D. Fatigue in repeated-sprint exercise is related to muscle power factors and reduced neuromuscular activity. *Eur J Appl Physiol* 103: 411-419, 2008.
- Mohr M, Krustrup P, and Bangsbo J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci* 21: 519-528, 2003.
- Ogushi T, Ohashi J, Nagahama H, Isokawa M, and Suzuki S. Work intensity during soccer match play: A case study In *TReilly, JClarys, and A Stibbe, (eds) Science and Football II E & F Spon London*: 121-123, 1993.
- Rampinini E, Impellizzeri FM, Castagna C, Abt G, Chamari K, Sassi A, and Marcora SM. Factors influencing physiological responses to small-sided games. *J Sports Sci* 25: 650-666, 2007.

- Rampinini E, Sassi A, Morelli A, Mazzoni S, Fanchini M, and Coutts AJ. Repeated-sprint ability in professional and amateur soccer players. *Appl Physiol Nutr Metab* 34: 1048-1054, 2009.
- Reilly T and Williams AM. *Science and Soccer*. London: Routledge, 2002.
- Rienzi E, Drust B, Reilly T, Carter JEL, and Martin A. Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite South American international soccer players. *J Sports Med Phys Fitness* 40: 162-169, 2000.
- Salaj S and Markovic G. Specificity of jumping, sprinting, and quick change-of-direction motor abilities. *J Strength Cond Res* 25: 1249-1255, 2011.
- Sheppard J and Young W. Agility literature review: Classifications, training and testing. *J Sports Sci* 24: 919-932, 2006.
- Silva AM, Fields DA, Heymsfield SB, and Sardinha LB. Body composition and power changes in elite judo athletes. *Int J Sports Med* 31: 737-741, 2010.
- Smolander J, Ajovalta M, Juuti T, Nummela A, and Rusko H. Estimating oxygen consumption from heart rate and heart rate variability without individual calibration. *Clin Physiol Funct Imaging* 31: 266-271, 2011.
- Spencer M, Bishop D, Dawson B, Goodman C, and Duffield R. Metabolism and performance in repeated cycle sprints: Active versus passive recovery. *Med Sci Sports Exerc* 38: 1492-1499, 2006.
- Sperlich B, De Marees M, Koehler K, Linville J, Holmberg HC, and Mester J. Effects of 5 Weeks' High-Intensity Interval Training vs. Volume Training in 14-Year-Old Soccer Players. *J Strength Cond Res* 25: 1271-1278, 2011.
- Stagno KM, Thatcher R, and van Someren KA. A modified TRIMP to quantify the in-season training load of team sport players. *J Sports Sci* 25: 629-634, 2007.
- Stolen T, Chamari K, Castagna C, and Wisloff U. Physiology of soccer: an update. *Sports Med* 35: 501-536, 2005.
- Swain DP, Leutholtz BC, King ME, Haas LA, and Branch JD. Relationship between % heart rate reserve and % VO<sub>2</sub> reserve in treadmill exercise. *Med Sci Sports Exerc* 30: 318, 1998.
- Tessitore A, Meeusen R, Piacentini MF, Demarie S, and Capranica L. Physiological and technical aspects of "6-a-side" soccer drills. *J Sports Med Phys Fitness* 46: 36-43, 2006.
- Trapattoni G. Coachinh high performance soccer. Eds Reedswain INC, 1999.
- Verheijen R. La condition physique du footballeur. Ed. Elisma Pays-Bas, 1998.
- Wadley G and Le Rossignol P. The relationship between repeated sprint ability and the aerobic and anaerobic energy systems. *J Sci Med Sport* 1: 100-110, 1998.
- Wong DP, Chan GS, and Smith AW. Repeated-sprint and change-of-direction abilities in physically active individuals and soccer players: Training and testing implications. *J Strength Cond Res* 26: 2324-2330, 2012.
- Wragg C, Maxwell N, and Doust J. Evaluation of the reliability and validity of a soccer-specific field test of repeated sprint ability. *Eur J Appl Physiol* 83: 77-83, 2000.

- Young WB, McDowell MH, and Scarlett BJ. Specificity of Sprint and Agility Training Methods. *J Strength Cond Res* 15: 315-319, 2001.
- Zauli A, ed. Soccer Modern Tactics: Italy's Top Coaches Analyze Game Formations Through 180 Situations. 2002.